

ЗЕМЛЯ И

№5 (353)

СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2023

астрономия
геофизика
космонавтика

ISSN 0044-3948

ВСЕЛЕННАЯ



**Долина гейзеров на Камчатке
Астроблемы на востоке
Московской области
Космический мониторинг
углерода в лесах России**

УСПЕХ «ЧАНДРАЯНА-3»: КОРОТКО О ГЛАВНОМ

К СТОЛЕТИЮ ПЛАНЕТАРИЯ: МИССИЯ И ПРОБЛЕМЫ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!
Открыта подписка для физических лиц
на номера 2023 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1650 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

**Журналы также можно приобрести в розницу
в магазинах «Академкнига» по следующим ценам:**

«Земля и Вселенная» — 310 руб.

«Природа» — 360 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 360 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**



СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2023 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	255	90
«Природа»	315	90
«Энергия: экономика, техника, экология»	315	90

Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.
Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГБУ «Издательство «Наука»:**
Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)
E-mail: journals@naukapublishers.ru

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№5 (353)
СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2023

ISSN 0044-3948

астрономия
геофизика
космонавтика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На обложке:
Долина реки Гейзерной на
Камчатке. Фото А.В. Завадской
(см. стр. 21)

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
ФЛЕЙС М.Э., НЫРЦОВ М.В., КАЗАНЦЕВ Н.Н. Именные картографические проекции	5
ЛЕБЕДЕВА Е.В., ЗАВАДСКАЯ А.В. Долина гейзеров на Камчатке: рельефообразование в условиях гидротермального воздействия	18
МАККАБЕЕВ А.Н., ГУРИНОВ А.Л., АЛЕКСАНДРОВСКИЙ А.Л., ШВАРЕВ С.В., ЛУГОВОЙ Н.Н., КАРАВАЕВ В.А. Астроблемы на востоке Московской области	31
БАРТАЛЁВ С.А., ЛУКИНА Н.В. Новая методология космического мониторинга углерода в лесах России	44

Космонавтика XXI века

ШУБИН П.С. Третий «Лунный корабль» Индии достиг цели	59
---	----

Планетарии

ЛОБАНОВ А.В., ЯЗЕВ С.А. К столетию планетария: миссия и проблемы	64
ФЕСЕНКО А.В. «Изобретение слабой руки». Краткая история планетариев	74
ЛОБАНОВ А.В. Эволюция оптико-механического проектора за 100 лет	82

Симпозиумы, конференции

ТРОФИЛЕВА И.Н., ТИХОМИРОВА Е.Н. Международная неделя планетариев в Ярославле. К 60-летию полета первой женщины-космонавта В.В. Терешковой	96
Table of Content	105

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.
Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
член-корр. РАН
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
член-корр. РАН
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЕВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
академик В.А. СОЛОВЬЕВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
RAS Corr. Member Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr. Member Dr. Igor D. NOVIKOV
RAS Corr. Member Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

У многих из нас путь в космические науки начинался в планетарии.

Со школьных дней помню торжественное ощущение, когда под куполом гас свет, включались сложные устройства и над головой открывалась «бездна, звезд полна»... В новом номере журнала об этих замечательных аппаратах, созданных трудом многих изобретателей и ученых, нам расскажут представители Ассоциации планетариев России: Андрей Владимирович Лобанов, Андрей Васильевич Фесенко и Сергей Артурович Язев. Они не только описывают технику и историю, но и рассуждают, как можно сегодня наилучшим образом использовать планетарии для образования и просвещения.

Хотел поделиться с читателями еще одной новостью – 16 октября на заседании Президиума РАН я был утвержден главным редактором «Земли и Вселенной» еще на 5 лет. Я признателен коллегам из РАН за доверие, тем более, что мое переутверждение почти совпало с важной для нас новостью – журнал был удостоен старейшей отечественной фантастической мемориальной премии, названной в честь Александра Беляева – первого профессионального писателя-фантаста в Советском Союзе. В следующем номере мы обязательно расскажем и о премии, и о вручении.

По сложившейся уже традиции центральной темой пятого осеннего номера

«ЗиВ» стал не дальний космос, а наша «знакомая незнакомая» Земля, исследования которой продолжают радовать нас новыми открытиями. Однако прежде чем перейти к этой теме, скажу, что мы не могли не напечатать короткую заметку Павла Сергеевича Шубина о сенсационных результатах, полученных индийской посадочной миссией «Чандраяан-3» в окрестности южного полюса Луны. Индийские коллеги дали космическому сообществу наглядный урок последовательности и настойчивости в достижении цели. Разбив при прилунении в 2020 г. посадочный аппарат предыдущей экспедиции «Чандраяан-2», они сумели за три года учесть все ранее сделанные ошибки и блестяще посадить свой модуль в заранее выбранном районе, многообещающем в смысле содержания под поверхностью водяного льда.

Но возвращаемся к Земле. Материал для этого номера подобрала член редколлегии нашего журнала, доктор географических наук, член-корреспондент РАН, директор академического института географии **Ольга Николаевна Соломина**, которая согласилась стать приглашенным редактором этого выпуска «ЗиВ». С удовольствием предоставляю ей слово.

*Главный редактор
журнала «Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный*

* * *

В этом номере представлены четыре статьи про Землю. Они очень разные, но все, по-моему, заслуживают внимания. Первая статья М.Э. Флейс, М.В. Нырцова и Н.Н. Казанцева «Именные картографические проекции» посвящена традиционному для географии и картографии вопросу картографических проекций. В последние годы мы все больше для самых разных целей, в том числе и научных, пользуемся изображениями Земли из космоса. Эта статья – напоминание нам о цен-



ности традиционных карт, а карта, как известно, – язык географии. Как и языки, на которых мы говорим, картографические языки очень разнообразны и обладают разными средствами выразительности. Проекции, о которых идет речь в статье, используются не только для отображения поверхности Земли, но и других небесных тел, то есть этот сюжет может быть интересен и читателям, которые интересуются иными мирами.

Две следующие статьи посвящены геоморфологии, причем обе описывают очень необычные природные формы рельефа: гейзеры на Камчатке и астроблемы в Московской области. Статья Е.В. Лебедевой, А.В. Завадской посвящена процессам рельефообразования, которые происходят в долине гейзеров в Кроноцком заповеднике, где разрушают и создают рельеф не только вода и ветер, но активные подземные силы, поскольку гидротермальная система связана с магматическим очагом, который действует как подземный нагреватель. В результате рельеф становится очень динамичным, здесь часто сходят сели, образуются, заполняются и прорываются озера, изпод земли бьют струи пара, бурлят грязевые котлы. На фотографиях видно, какой необычный это ландшафт, какие яркие краски – изумрудный, желтый, красный... Удивительно, что открыта долина гейзеров была относительно недавно – в 1941 г. геологом Татьяной Ивановной Устиновой. В 2007 г., когда в долине сошло несколько селей, все беспокоились, что Долина гейзеров может исчезнуть, так как после схода селей многие гейзеры были разрушены или перекрыты селевыми массами. К счастью, они восстанавливаются – в статье описан процесс «регенерации», который происходит в последние годы. Однако древние формы рельефа свидетельствуют о том, что такие разрушительные процессы происходили здесь постоянно и, с большой вероятностью, будут происходить и в будущем.

В статье про астроблемы А.Н. Макавеев, А.Л. Гуринов, А.Л. Александровский, С.В. Шварев, Н.Н. Луговой и В.А. Караваев рассказывают о том, какие удивительные природные объекты можно наблюдать не в экзотических странах, а в Московской области. Астроблема – форма рельефа, которая образуется при падении небесных тел на Землю. В результате образуется котловина правильной формы и обрамляющий ее вал. Но всякое ли круглое озеро – астроблема? Специалисты из ИГ РАН и МГУ им. М.В. Ломоносова – авторы этой статьи – детально анализируют озеро Смердячее: строение вала и рельеф котловины, георадиолокационные разрезы, батиметрические и топографические профили, результаты дистанционного зондирования.

Статья С.А. Барталева и Н.В. Лукиной «Новая методология космического мониторинга углерода в лесах России» заинтересует многих, в частности тех, кто обеспокоен современными изменениями климата и прямым активным воздействием человека на биоту. Здесь представлен набор карт, касающихся состояния лесов России, – запас стволовой древесины, преобладающие породы, бонитет, возраст и, наконец, запасы углерода. Последнее особенно важно в контексте развития в мире систем торговли углеродными квотами. Статья особенно актуальна в связи с приближающейся конференцией сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, более известной как COP 28, которая пройдет с 30 ноября по 12 декабря 2023 г. в Экспо-Сити, Дубай. В ней будет принимать участие и российская делегация под руководством члена-корреспондента РАН С.К. Гулева. Надеюсь, что нам удастся донести до коллег новые интересные данные, полученные российскими учеными в области наук о Земле.

*Ольга Николаевна Соломина,
член-корреспондент РАН, директор
Института географии
Российской академии наук*

ИМЕННЫЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ



ФЛЕЙС Мария Эдгаровна,

кандидат технических наук

Институт географии РАН

НЫРЦОВ Максим Валерьевич,

доктор технических наук, профессор РАН

*Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова*

КАЗАНЦЕВ Николай Николаевич,

кандидат географических наук

Институт географии РАН



DOI: 10.7868/50044394823050018

Картографической проекцией называется математически выраженный способ отображения поверхности Земли или иного небесного тела, принимаемого за шар или эллипсоид, на плоскости.

Названия картографических проекций могут отражать их свойства, в частности характер искажений, или быть связаны с именем создателя проекции или карты в этой проекции. И в том и в другом случае смысл названия может меняться. Именные проекции могут иметь разный смысл в разных странах. В этой статье мы

рассмотрим равноугольные цилиндрические проекции (Меркатора в нормальной и поперечной ориентировке, Гаусса–Ламберта, Гаусса–Крюгера), равноугольную коническую проекцию Ламберта, равнопромежуточные конические проекции (Птолемея, Красовского, Каврайского и другие), равноугловую коническую проекцию Альберса,

а также поликонические проекции ЦНИИГАиК или проекции Гинзбурга. Мы приведем примеры названий проекции на картах, которые могут привести к ее неточному определению, что может быть причиной получения «плохих данных». Определим основные параметры, используемые при описании проекции в программных продуктах как части системы координат и возможности добавления «новых» проекций. Уточним разницу выбора проекции при создании новой карты и при работе с уже существующей и рассмотрим вопрос «узнаваемости» картографируемой территории. Наконец, покажем связь картографических проекций для Земли и для небесных тел более сложной формы.

ВВЕДЕНИЕ

Картографические проекции сами по себе интересны для тех, кто ими занимается. Для остальных лиц, работающих с картами, проекция оживает, когда в ней создана карта. По сути, карта является «портретом проекции».

При создании карт принято сначала переходить от физической поверхности картографируемого небесного тела к выбранной математической поверхности. Способами такого перехода, включая и выбор математической поверхности, занимается наука геодезия. Для картографирования Земли используется поверхность шара (сфера) или эллипсоида вращения, на которой задается система угловых координат, называемых широтой и долготой. Координатными линиями этой системы являются параллели и меридианы.

И поверхность шара, и поверхность эллипсоида вращения не могут быть развернуты на плоскость без искажений. Поэтому существует много различных способов перехода от математической поверхности к плоскости,

называемых картографическими проекциями. Картографические проекции могут быть получены как геометрическими построениями, так и с помощью математических формул (аналитически). Это составляет предмет математической картографии.

КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Систематизация, классификация, выбор названий позволяют связать картографические проекции с их свойствами и сравнивать между собой. В качестве одного из классификационных признаков, позволяющих разделить множество картографических проекций на различные классы, можно выбрать вид сетки параллелей и меридианов. Однако название такого класса проекций так или иначе связано с поверхностью, которая может быть развернута на плоскость без искажений. Это могут быть цилиндрические, конические и азимутальные проекции, для которых цилиндр, конус или касательная к сфере или эллипсоиду плоскость выбраны в качестве вспомогательной при переходе к плоскости проекции.

Название картографической проекции указывает на ее свойства. Так, в названии «псевдоцилиндрические», с одной стороны, видна связь с цилиндрическими проекциями, с другой стороны, «псевдо» указывает на особенности свойств этих проекций и их отличие от цилиндрических.

Свойства проекций, относящихся к определенному классу, для этого классификационного признака получаются разными способами.

Например, цилиндрические проекции могут быть определены как проекции, для которых меридианы на плоскости представляют собой параллельные линии, направленные с юга

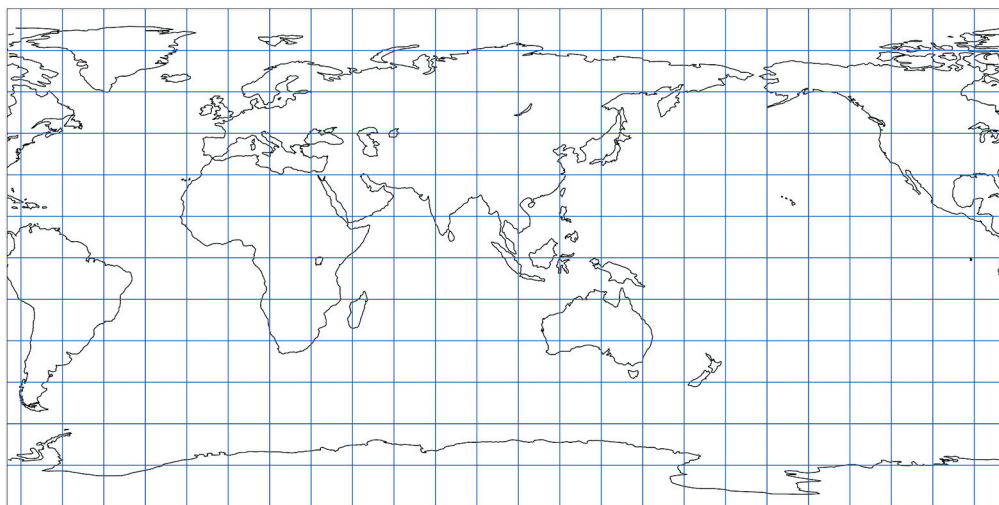


Рис. 1. Картографическая сетка цилиндрической проекции с очертаниями материков. Использованы контуры континентов Earth_aplot и программное обеспечение G. Projector



Рис. 2. Картографическая сетка конической проекции с очертаниями материков. Использованы контуры континентов Earth_aplot и программное обеспечение G. Projector

на север и находящиеся на одинаковом расстоянии друг от друга. Параллели в цилиндрической проекции перпендикулярны меридианам, а расстояние между ними зависит от характера искажений. Можно определить цилиндрические

проекции иначе – как проекции, в которых формула вычисления горизонтальной координаты зависит только от долготы, а формула вычисления вертикальной координаты зависит только от широты.

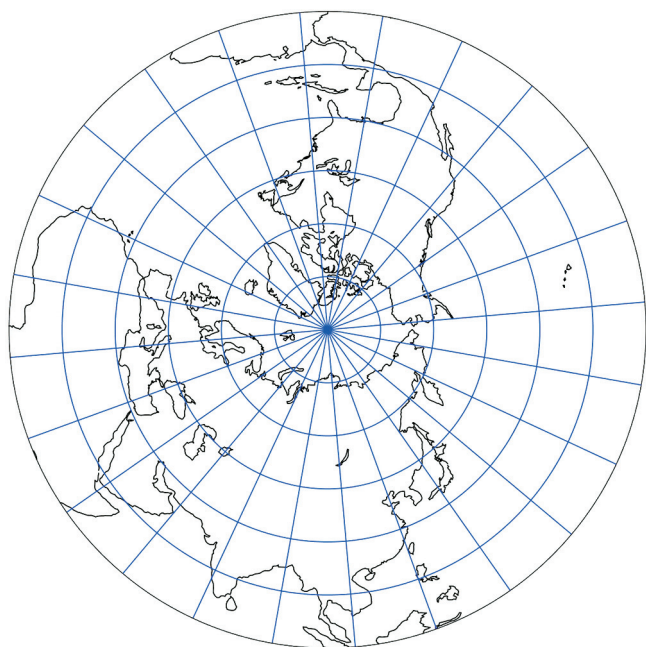


Рис. 3. Картографическая сетка азимутальной проекции с очертаниями материков. Использованы контуры континентов Earth_aplot и программное обеспечение G. Projector

Псевдоцилиндрические проекции также можно определить либо как проекции, в которых параллели – прямые линии, а меридианы криволинейны, либо как проекции, в которых вертикальная координата зависит только от широты, а горизонтальная координата – от широты и долготы.

Другой важный классификационный признак – это характер искажений.

По характеру искажений обычно различают равноугольные (сохраняющие углы между направлениями), равновеликие (сохраняющие площади) и произвольные проекции, в которых могут быть искажения и углов, и площадей.

Среди произвольных проекций особое место занимают такие, которые сохраняют отношение длин по каким-то направлениям, в частности, сохраняющие отношение длин по меридианам (равнопромежуточные).

Для изображения территории России часто используются равнопромежуточные конические проекции. Свойства

сохранения площадей и углов противоречат друг другу. Другими словами, проекция не может быть одновременно и строго равноугольной, и строго равновеликой на всей картографируемой территории. Такое возможно только в некоторых выбранных точках или на выбранных линиях, которые определяются параметрами проекции. Для конических проекций это секущие параллели конуса или касательная параллель, для цилиндрических – секущая или касательная параллель цилиндра, для азимутальных – линия сечения поверхности шара или эллипсоида плоскостью азимутальной проекции или точка касания этой плоскости и поверхности. Одновременно выполняются свойства равноугольности и равновеликости при разбиении картографируемой территории на области, которые могут быть развернуты на плоскость практически без искажений в рамках используемого масштаба.

Как видно из рисунков, вертикальная координата для равноуголь-

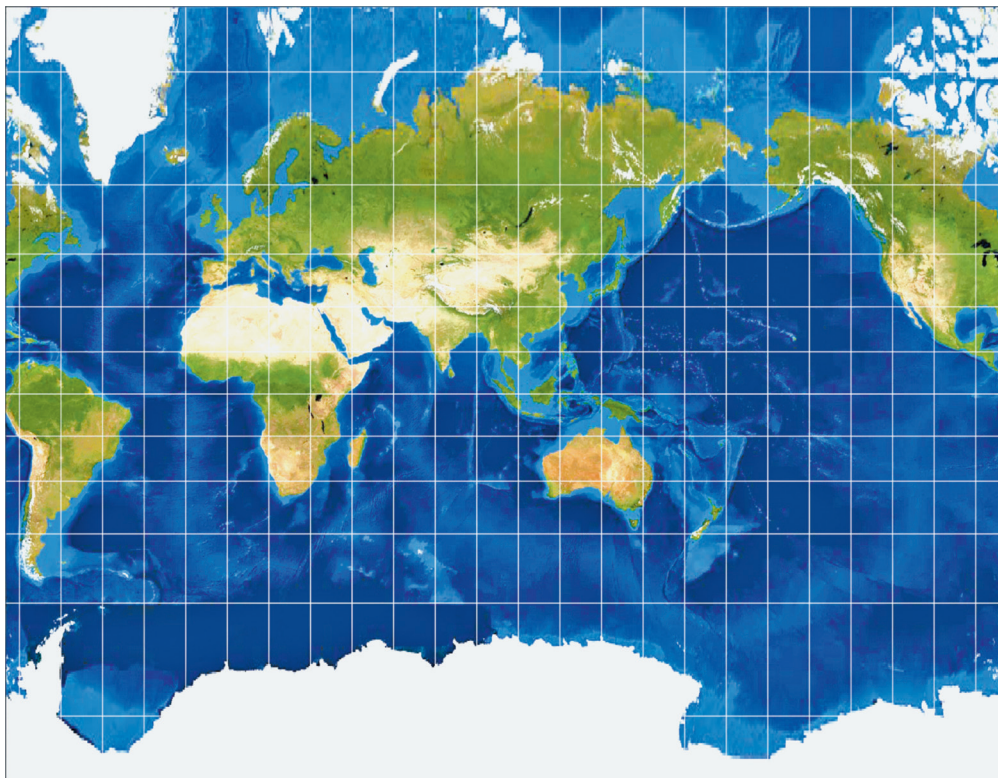


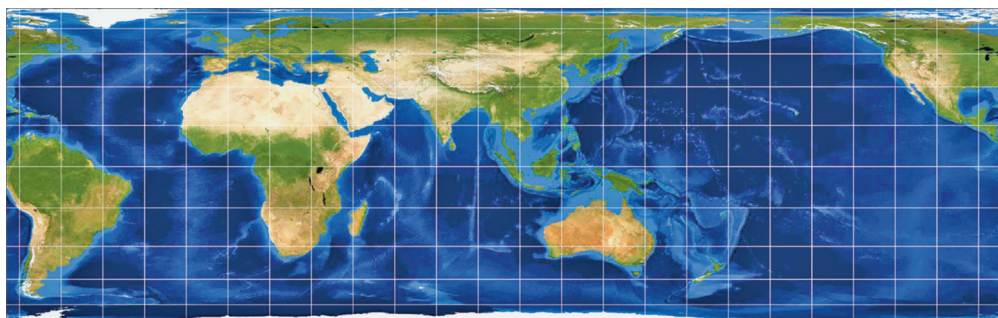
Рис. 4. Равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора. Использовано изображение world_topo_bathy_200407 и программное обеспечение G. Projector

ной и равновеликой цилиндрических проекций сильно различаются. При этом горизонтальная координата для всех цилиндрических проекций имеет

одинаковое значение при одинаковой долготы.

Еще один классификационный признак – это ориентировка математической

Рис. 5. Равновеликая цилиндрическая проекция. Использовано изображение world_topo_bathy_200407 и программное обеспечение G. Projector



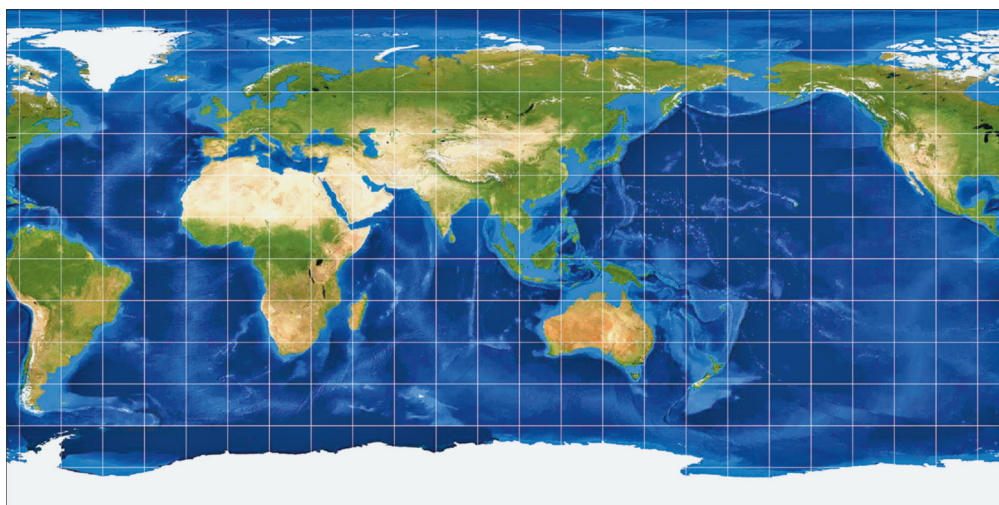


Рис. 6. Равнопромежуточная вдоль меридианов (квадратная) цилиндрическая проекция. Использовано изображение world_topo_bathy_200407 и программное обеспечение G. Projector

поверхности относительно Земли, то есть выбранный полюс проекции. Проекция по ориентировке могут быть нормальными (прямыми), поперечными или косыми. При указании названия проекции «нормальная» или «прямая» часто опускается.

ЧТО В ИМЕНИ ТЕБЕ МОЕМ?

Названия картографических проекций могут отражать их свойства, в частности характер искажений, или быть связаны с именем создателя. И в том и в другом случае смысл названия может интерпретироваться различным образом. Порядок свойств в названии проекции строго не определен. Можно сказать «прямая коническая равнопромежуточная проекция», а можно и «равнопромежуточная коническая проекция в нормальной ориентировке». На некоторых картах представлены названия проекций, но не указаны параметры. Например, встречается такое название на картах: «коническая равнопромежуточная проекция». Для карты, создан-

ной традиционным способом, параметры иногда можно выяснить с учетом ее назначения и времени создания, так как существует определенный набор проекций с известными параметрами. Как правило, такие проекции – именные. Однако при составлении карт в различных программных продуктах – геоинформационных системах (ГИС), выбор параметров картографической проекции не всегда соответствует правилам. В частности, в 1990-е годы для карты России в конической проекции (как равнопромежуточной, так и равноугольной) на практике многими использовались секущие параллели, предназначенные для карты Африки, поскольку в файле описания проекции в популярном программном продукте MapInfo была уже готовая строка. Важно понимать, что если при создании новой карты есть определенная свобода в выборе проекции, то при использовании уже существующей карты некорректное определение проекции или ее параметров приводит к понижению точности координатного описания объектов картографирования.

Указанное обстоятельство приводит к несоответствиям при интеграции цифровых пространственных данных из разных картографических и иных источников, т.е. к изменениям взаимного расположения пространственных объектов, пересечения границ и др.

Геоинформационные системы в современной web-среде все больше используются как средство интеграции данных из различных источников для генерации и проверки гипотез, принятия различных решений и урегулирования конфликтов в использовании территории. Таким образом, обсуждаемые несоответствия – это один из влиятельных факторов широко распространенного феномена «плохих» пространственных данных, что необхо-

димо учитывать при анализе реальной ситуации.

Геоинформационные и картографические программные продукты поддерживают определенный набор проекций. При описании используемой системы координат обычно указывается название или параметры геодезической системы координат, название проекции и ее параметры, а также долгота и широта начала координат. Вместо масштаба, как это было для традиционных карт, указываются единицы измерения. В большинстве таких программных продуктов уже есть описания каких-то систем координат. Добавление «новых» проекций сводится к вводу новых параметров для проекций, поддерживаемых данным программным

Таблица 1

Различные виды описания проекции Меркатора

Вид описания проекции	Структура описания проекции
HTML	PROJCS[“Sphere_Mercator”, GEOGCS[“GCS_Sphere”, DATUM[“Not_specified_based_on_Authalic_Sphere”, SPHEROID[“Sphere”,6371000,0]], PRIMEM[“Greenwich”,0], UNIT[“Degree”,0.017453292519943295]], PROJECTION[“Mercator_1SP”], PARAMETER[“False_Easting”,0], PARAMETER[“False_Northing”,0], PARAMETER[“Central_Meridian”,0], PARAMETER[“Standard_Parallel_1”,0], UNIT[“Meter”,1], AUTHORITY[“EPSG”,»53004«]]
Proj4	+proj=merc +lon_0=0 +k=1 +x_0=0 +y_0=0 +a=6371000 +b=6371000 +units=m +no_defs
ESRI WKT	PROJCS[«Sphere_Mercator», GEOGCS[«GCS_Sphere», DATUM[«D_Sphere», SPHEROID[«Sphere»,6371000,0]], PRIMEM[«Greenwich»,0], UNIT[«Degree»,0.017453292519943295]], PROJECTION[«Mercator»], PARAMETER[«False_Easting»,0], PARAMETER[«False_Northing»,0], PARAMETER[«Central_Meridian»,0], PARAMETER[«Standard_Parallel_1»,0], UNIT[«Meter»,1]

обеспечением. При этом необходимо учитывать различную структуру представления параметров проекции для ГИС. (Это могут быть HTML, OGC WKT, Proj4, JSON, GML, ESRI WKT, PRJ File и др.) Например, проекция Меркатора для сферы в этих описаниях будет выглядеть по-разному (см. таблицу).

О проекции Меркатора. Нормальная цилиндрическая равноугольная проекция Меркатора является самой известной из именных проекций. В 1569 году Герард Меркатор представил карту мира в этой проекции для цилиндра, касательного к шару, и отметил важное свойство проекции, позволяющее прокладывать курс корабля с помощью прямых линий на карте. Это связано с тем, что линия, пересекающая меридианы под одним и тем же углом (локсодромия), изображается на карте прямой. В настоящее время проекцией Меркатора также называется цилиндрическая равноугольная проекция для эллипсоида вращения с заданной секущей параллелью. В этой проекции создано много морских, в том числе навигационных, карт разных масштабов.

Время от времени проекция Меркатора подвергается критике. В качестве основного недостатка обычно указывается сильное искажение площадей – в частности, в ней Гренландия визуально по площади примерно равна Африке. Как будто равноугольная проекция, да еще и с такими замечательными свойствами может быть одновременно и равновеликой! Эта проекция получила новую жизнь в эпоху геоинформационных технологий, так как при увеличении фрагмента карты на экране компьютера соотношение размеров объектов и расстояний между ними соответствует истинным. Кроме того, любой фрагмент сориентирован с юга на север. Изменение масштаба

легко может быть учтено при измерении расстояний и площадей на электронной карте.

Название «проекция Меркатора» в нормальной ориентировке имеет одинаковый смысл во всем мире. Однако для поперечной цилиндрической проекции Меркатора ситуация более сложная. В нашей стране ранее поперечной проекцией Меркатора, или проекцией Гаусса–Ламберта, называлась поперечно-цилиндрическая равноугольная (или конформная) проекция сферы. В американской литературе по математической картографии и, что самое главное, в популярных геоинформационных программных продуктах производства компаний, базирующихся в США, поперечной проекцией Меркатора (Transvers Mercator) называется равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция как для сферы, так и для поверхности эллипсоида вращения. Заметим, что равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция для поверхности эллипсоида вращения строится исходя из дополнительного условия сохранения масштаба длин на среднем меридиане. Частным случаем такой проекции является UTM с масштабом на среднем меридиане 0.9996. В нашей стране используется другой вариант этой проекции с масштабом на среднем меридиане, равным единице. Такая проекция называется проекцией Гаусса–Крюгера.

Вспомним, что представляет собой проекция Гаусса–Крюгера. Это равноугольная проекция для эллипсоида вращения, в которой сохраняется масштаб на прямолинейном среднем меридиане. Проекция может быть получена в три этапа. Сначала поверхность эллипсоида равноугольно отображается на сферу. Затем следует отображение сферы на плоскость в поперечно-цилиндрической равноугольной проекции Гаусса–Ламберта и далее осу-

ществляется равноугольное отображение плоскости на плоскость для приведения расстояний на среднем меридиане в соответствие с расстояниями на эллипсоиде. В проекциях Гаусса–Крюгера и UTM составлено большинство географических карт крупных масштабов.

Об использовании конических проекций. Для территорий, имеющих большую протяженность с запада на восток, целесообразно использовать конические проекции. Еще во втором веке нашей эры Клавдий Птолемей предложил коническую проекцию для конуса, касательного к шару. Проекция сохраняет длины на меридианах и может быть построена чисто геометрически. Смысл ее названия не менялся. Для изображения территории нашей страны особенно часто используются равнопромежуточные конические проекции с двумя секущими параллелями. Среди них есть именные с заданными параметрами. Например, для проекции Каврайского широты секущих параллелей составляют 47° и 62° . Проекция Красовского строится исходя из условия сохранения площади широтного пояса между параллелями $39^\circ 28' 42''$ и $73^\circ 28' 42''$ северной широты. Соответствующие этому условию широты секущих параллелей в долях градуса равны 50.6544 и 66.7251.

Подбор параметров конической равнопромежуточной проекции разными авторами с целью управления распределением искажений во многом связан с освоением северных территорий. Так, Леонард Эйлер считал, что нет ничего достойного минимизации искажений южнее сороковой и севернее семидесятой параллели, а для равнопромежуточной проекции ЦНИИГАиК в качестве секущих приняты параллели 48° и 71° .

Равноугольные конические проекции в отечественной литературе ино-

гда называются коническими проекциями Гаусса или Ламберта–Гаусса (так сложилось, что равноугольные конические называют проекциями Ламберта–Гаусса, а равноугольные поперечно-цилиндрические – проекциями Гаусса–Ламберта), а в североамериканской литературе и соответственно в геоинформационных продуктах – проекциями Ламберта. При этом необходимо уточнять, о какой проекции Ламберта идет речь, так как с этим именем связана как равноугольная (конформная) коническая проекция, так и равновеликая азимутальная проекция. Поэтому указания имени недостаточно.

Равновеликие конические проекции редко используются для изображения территории нашей страны, но для американских карт это одна из основных проекций и называют ее проекцией Альберса.

Группы проекций. Некоторые имена связаны не с определенной проекцией, а с группой проекций. Так, проекциями Эйлера называются равновеликие проекции, сохраняющие прямой угол между меридианом и параллелью. Иногда конические равнопромежуточные проекции с двумя секущими параллелями называют проекциями Делиля.

Немецкий картограф Макс Эккерт предложил шесть вариантов псевдоцилиндрических проекций для карт мира. Проекции с нечетными номерами являются произвольными по характеру искажений, а с четными – равновеликими.

Проекция в честь организаций. В нашей стране проекции иногда называют в честь организации, в которой они были разработаны. Так, равнопромежуточная коническая проекция с секущими параллелями 71.568357° и 46.548696° , разработанная Е.А. Судаковой для

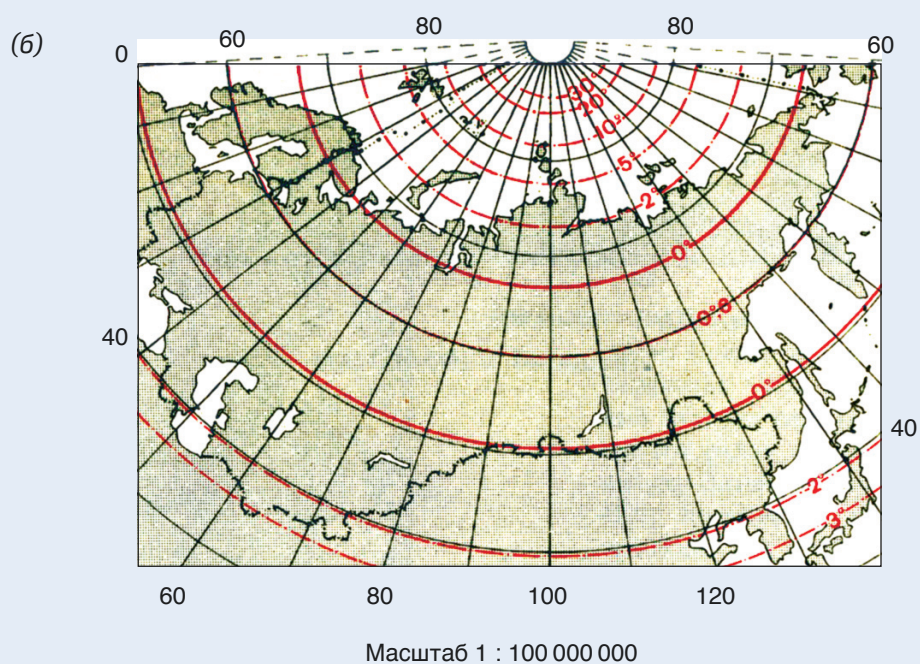
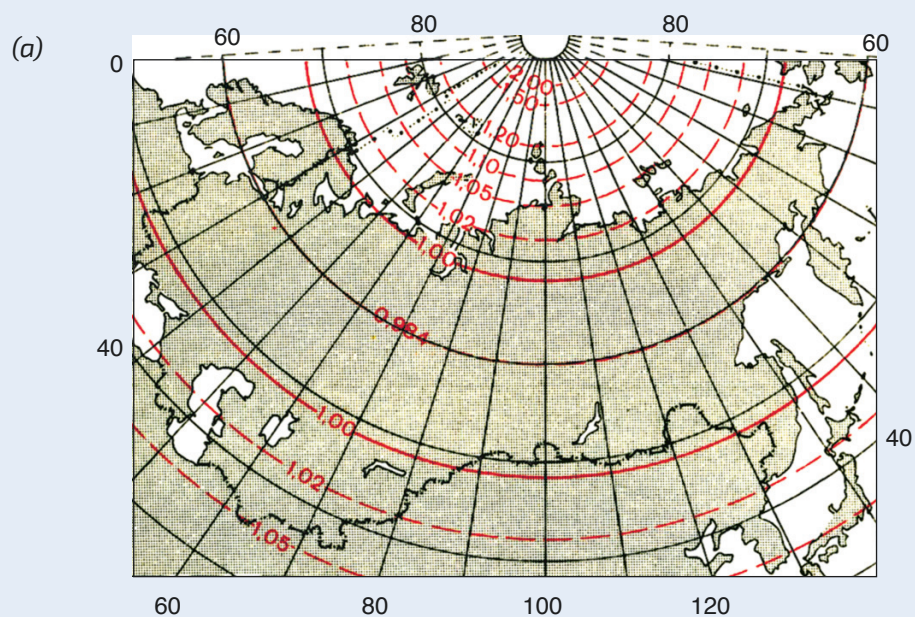


Рис. 7. Карта СССР в прямой конической равнопромежуточной проекции Красовского: (а) с линиями постоянных искажений (изоколами) масштаба площадей и (б) с изоколами наибольших искажений углов. Источник: Атлас для выбора картографических проекций (Гинзбург Г.А., Салманова Т.Д.)

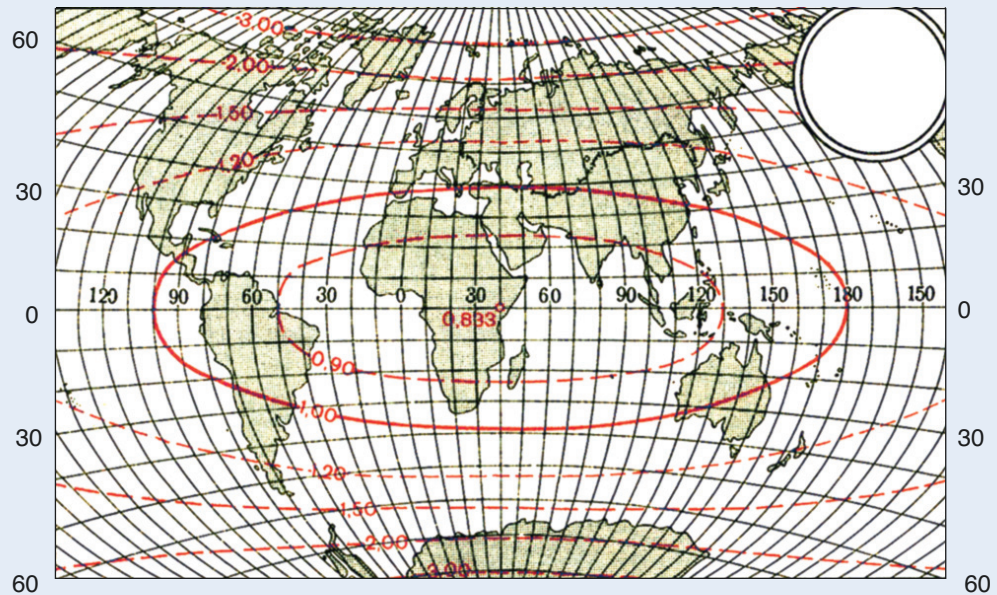
вышедшей в 1999 году карты масштаба 1 : 2 500 000, была названа автором проекцией ПКО (Производственное карто-составительское объединение «Картография»). Большое количество проекций, разработанных под руководством Г.А. Гинзбурга и включенных в Атлас для выбора картографических проекций, получили названия проекций ЦНИИГАиК (Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии). Американцы называют их проекциями Гинзбурга и присваивают номера по аналогии с проекциями Эккерта, что вносит путаницу в конкретику использования проекций. Существуют проекции Гинзбурга I, II, IV, V, VI, VIII, IX. Так, под проекцией Гинзбурга VIII значится псевдоцилиндрическая проекция ЦНИИГАиК (№ 69 по Атласу), а под проекцией Гинзбурга IV – поликоническая проекция ЦНИИГАиК (№ 70 по Атласу). Поликонические проекции ЦНИИГАиК разрабатывались для конкретных карт по эскизам картографической сетки. В Атласе даны уточнения для конкретных проекций. Это либо год, либо произведение, для которого создается карта. Например, БСЭ (Большая советская энциклопедия), или ФГАМ (Физико-географический атлас мира). Проекции могут сильно отличаться одна от другой. Поэтому если на карте написано «Поликоническая проекция ЦНИИГАиК», необходимо уточнять, какая именно. Иначе так же, как и для конической проекции с неверно определенными параметрами, можно получить «плохие данные».

Карты в поликонической проекции ЦНИИГАиК БСЭ дают хорошее представление о материках. В этой проекции неоднократно составлялась политическая карта мира, а также карты природы, в частности, почвенная карта.

От стран до небесных тел. Для каждой страны уже создано и используется большое количество картографических произведений, и при составлении новой карты важно учитывать сложившийся образ картографируемой территории, ее «узнаваемость». Например, для большинства карт СССР в качестве среднего использовался меридиан с долготой 100 градусов. Для изображения России, несмотря на изменение границ территории, также используется этот меридиан, так как иначе поворот Европейской части России ухудшит восприятие карты.

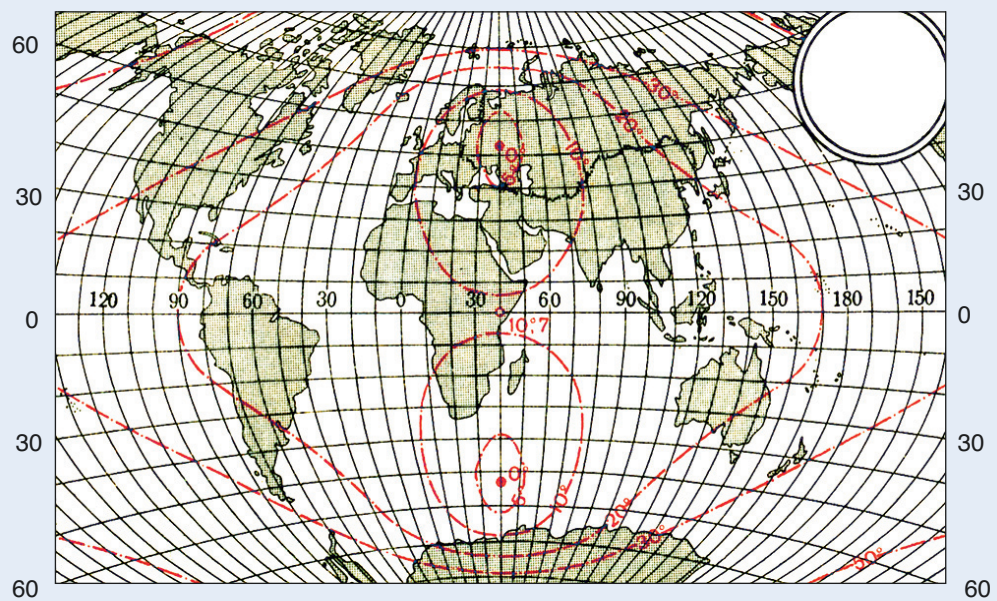
При картографировании земных территорий многие правила и понятия, такие как отсчет долготы на восток, начальный меридиан, север, юг, кажутся очевидными. Но если рассматривать Землю в общей системе небесных тел, то оказывается, что направление отсчета долготы, в соответствии с установлением Международного астрономического союза, должно быть противоположно направлению вращения тела, а Земля и Луна являются исключением. Кроме того, встречаются небесные тела более сложной формы, чем Земля, и в качестве математической поверхности целесообразно использовать трехосный эллипсоид, для которого разработано большое количество новых проекций. В частности, вместо проекции Меркатора приходится рассматривать две проекции. Одна строится, как это делал Меркатор, из условия сохранения отношения малых частей меридиана и параллели, а вторая обеспечивает сохранение угла между меридианом и параллелью. На основании новых разработок проекций для трехосного эллипсоида возникают так же и новые направления развития теории картографических проекций, и новые подходы к анализу и систематизации существующих картографических проекций для Земли.

(а)



Масштаб 1 : 300 000 000

(б)



Масштаб 1 : 300 000 000

Рис. 8. Карта в поликонической проекции ЦНИИГАиК БСЭ: (а) с изоколами масштаба площадей и (б) с изоколами наибольших искажений углов. Источник: Атлас для выбора картографических проекций (Гинзбург Г. А., Салманова Т. Д.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показано, насколько важно название той или иной картографической проекции, насколько тесно связано это название с ее свойствами, историей создания и применением. Особое внимание уделено именным проекциям. Приведены примеры таких проекций. Отмечено, что имена проекций могут по-разному восприниматься в разное время и в разных странах. Определены основные параметры, используемые при описании проекции в программных продуктах как части системы координат и возможности добавления «новых» проекций. Уточнена разница выбора проекции при создании новой карты и при работе с уже существующей. Рассмотрен вопрос «узнаваемости» картографируемой территории. Из-за очень большого количества именных проекций в статье нет описания проекций Мольвейде, Миллера, Винкеля, Бонна, Аитова и многих других, как отечественных, так и зарубежных. Описание

таких проекций можно найти в книге Л.М. Бугаевского и других учебниках по математической картографии.

Благодарности

Материалы, использованные в статье, выполнены по государственному заданию № АААА-А19-119022190168-8 (М.Э. Флейс, Н.Н. Казанцев) и № 121051400061-9 (М.В. Нырцов).

Литература

1. Гинзбург Г.А., Салманова Т.Д. Атлас для выбора картографических проекции. Тр. ЦНИИГАиК, М.: Геодезиздат. 1957. Вып. 110.
2. Эйлер Л. О географической проекции Делиля, примененной на генеральной карте Российской Империи. В сборнике Эйлер Л. Три статьи по математической картографии; под ред. Г.В. Багратуни. М.: Изд-во геодез. лит. 1959. С. 63–72.
3. Бугаевский Л.М. Математическая картография: Учебник для вузов. М.: Златоуст, 1998.
4. PROJ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://proj.org> (дата обращения: 25.04.2023).
5. Snyder J.P. Map Projections – A Working Manual. – U.S. Geological Survey Prof. Paper 1395, Washington, DC, U.S. Government Printing Office. 1987.

издательство
НАУКА
— 1727 —

**А вы отправили
обязательный
экземпляр?**

**Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату**

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно
Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oe@naukapublishers.ru

Реклама

ДОЛИНА ГЕЙЗЕРОВ НА КАМЧАТКЕ: РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ



**ЛЕБЕДЕВА Екатерина
Владимировна,**

кандидат географических наук
Институт географии РАН



**ЗАВАДСКАЯ Анна
Викторовна,**

кандидат географических наук
ФГБУ «Кроноцкий государственный
заповедник»

DOI: 10.7868/5004439482305002X

*Памяти геологов Виктора Михайловича Сузробова
и Владимира Леонидовича Леонова,
чей вклад в изучение Долины гейзеров трудно переоценить.*

В гидротермальных зонах Земли термальные воды нередко разрушают коренные породы до глин, что приводит к широкому развитию процессов оползания на склонах глубоко врезанных речных долин. Долина гейзеров на Камчатке – удивительный природный феномен, ярко демонстрирующий эти процессы. За последние 40 лет здесь произошло несколько катастрофических оползней, породивших сели, которые повредили некоторые уникальные гейзеры: часть источников оказалась затопленной, часть – перекрытой селевыми отложениями. Но таковы процес-

сы рельефообразования на Земле: реки врезаются, склоны долин разрушаются под воздействием гравитации, сходят мощные селевые потоки, формируются подпрудные озера, но рядом с погребенными или затопленными гейзерами просыпаются новые...

ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ

Выехав в 4 часа утра из Сан-Педро-де-Атакама (Чили), один из авторов статьи с коллегами-географами отправился на геотермальное поле Эль-Татио,

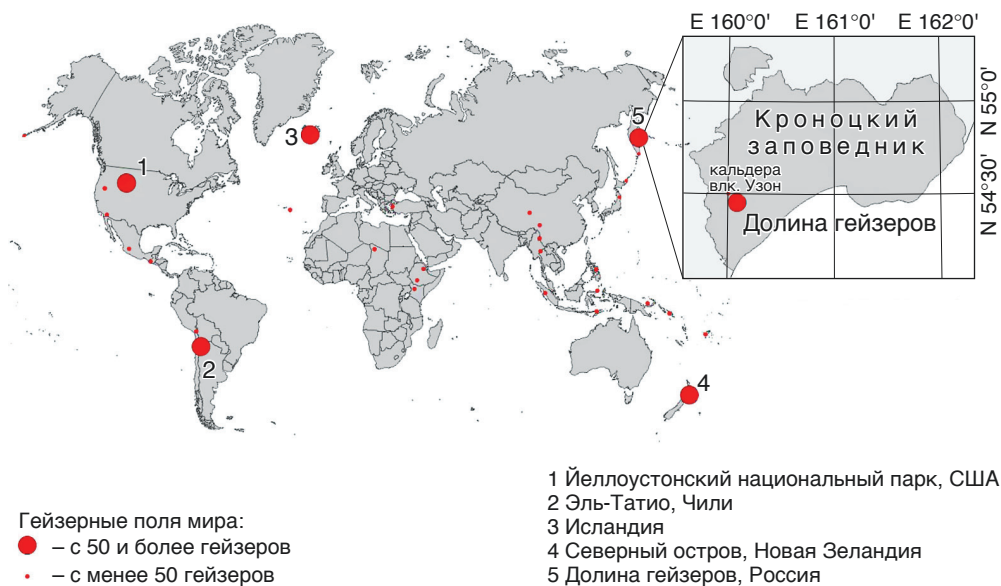


Рис. 1. Гейзерные районы мира и местоположение Долины гейзеров в Кроноцком природном биосферном заповеднике. Источник: Johnston W.R. World Geyser Locations. In: Johnston's Archive. 2010, с дополнениями

расположенное на западном склоне Анд. В полной темноте автомобиль нарезал серпантин: 3000 м над уровнем моря, 4000 м..., а температура от +20 °C понизилась до -3 °C... Темно, холодно. Но вот в предрассветной дымке показалось бурлящее Эль-Татио: казалось, что здесь все живет своей таинственной, ни на что не похожей жизнью... Замерзшие ноги чувствовали тепло земли через подошвы кроссовок, все кипело и булькало, будто мы попали на гигантскую кухню, но это был запах не вкусной похлебки, а серы – гейзеры, фумаролы, грязевые котлы окружали нас. Надпись на стенде у входа гласила: «Эль-Татио – одна из четырех геотермальных жемчужин нашей Планеты». Далее эти «жемчужины» были перечислены поименно и показаны на карте мира жирными красными точками: Исландия, Йеллоустон, Новая Зеландия и Эль-Татио.

А как же наша Долина гейзеров на Камчатке? Неужели исследователи

крупнейших геотермальных систем мира ничего о ней не знают? Не может быть! Конечно, специалисты о Долине гейзеров знают, но, как показала практика, далеко не все. Поэтому рассказ наш о ней будет совсем не лишним, тем более что это действительно одно из крупнейших гейзерных полей мира и поистине уникальный природный объект. В отличие от других гейзерных районов, Кроноцкая Долина является самой компактной: на участке протяженностью всего около 4 км насчитывается около сорока крупных гейзеров и полсотни термальных источников.

Долина гейзеров расположена среди вулканов Восточного вулканического пояса, протягивающихся цепочкой вдоль тихоокеанского побережья Камчатки, в 180 км к северо-востоку от Петропавловска-Камчатского. Этот район представляет собой плоскогорье с отметками 600–900 м над уровнем моря, а отдельные вершины вулканов под-

няты над его поверхностью еще на несколько сот метров. Часть этой территории занимает Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник площадью более 1476 км², в пределах которого и находятся гейзеры¹ Камчатки. Узкая и глубоко врезанная долина реки Гейзерной, ставшая после открытия в апреле 1941 г. геологом заповедника Татьяной Ивановной Устиновой знаменитой Долиной гейзеров, расположена у юго-западного подножья вулкана Кихпинч. В ней долгие годы были скрыты от людских глаз эти замечательные и неповторимые источники, столь разнообразные по характеру своей деятельности. Исследования современной гидротермальной² деятельности этого района показали, что гейзеры тесно связаны с магматизмом и являются поверхностными проявлениями мощной гидротермальной системы.

Долина р. Гейзерной находится на восточной границе Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии³ в пределах прогиба Восточной Камчатки, выполненного толщами четвертичных вулcanoгенно-осадочных пород (моложе 2.5 млн лет). В геологическом строении территории принимают участие три комплекса пород: докальдерный, синхронный кальдерообразованию и посткальдерный⁴. Докаль-

дерный комплекс объединяет преимущественно лавы и туфы⁵, относящиеся к среднему-позднему плейстоцену. Отложения второго комплекса включают игнимбриты⁶, древние озерные отложения и лавы. Молодые озерные отложения, представленные разнообразными туфами, и лавы, заполняющие депрессию, выделяются в качестве посткальдерного комплекса. Вероятно, в период последнего оледенения (15–20 тыс. лет назад) в Узон-Гейзерной депрессии сформировались также несколько крупных экструзий⁷. К этому времени вулканическая деятельность в районе практически прекратилась, депрессия была заполнена озерными отложениями и лавами. В голоцене процессы эрозии, особенно активные в период отступления ледников последнего оледенения, привели к разрушению борта депрессии, спуску озер и заложению глубоко врезанных каньонов рек Шумной и Гейзерной⁸.

ГЕЙЗЕРНАЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА

Гейзерная гидротермальная система связана с магматическим очагом, являющимся источником ее теплового питания. Водная составляющая

¹ Гейзер – особый вид (или режим) кипящего (пароводяного) источника, периодически выбрасывающего горячую воду и пар выше земной поверхности.

² Гидротермальная деятельность – процессы минералообразования, переноса тепла и вещества в условиях температурных аномалий в верхних частях земной коры.

³ Вулcano-тектоническая депрессия – кольцевая или овальная в плане структуры обрушения, развивающаяся в связи с вулканическими процессами.

⁴ *Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карпов Г.А., Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Зубин М.И.* Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. II. С. 94–141.

⁵ Туф – горная порода, образовавшаяся из твердых продуктов вулканических извержений, впоследствии уплотненная и сцементированная.

⁶ Игнимбрит – горная порода, образовавшаяся из выброшенных в ходе вулканических извержений мельчайших раскаленных обломков магмы, впоследствии спекшихся.

⁷ Экструзия – вулканическое тело, образовавшееся в результате выжимания или выдавливания очень вязкой лавы. Обычно имеют вид различной формы куполовидных поднятий.

⁸ *Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Дроздин В.А., Карпов Г.А., Леонов В.Л.* Жемчужина Камчатки – Долина Гейзеров. Научно-популярный очерк, путеводитель. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. 108 с.



Рис. 2. Разгрузка высокотемпературных подземных вод в виде гейзеров и кипящих источников в центральной части долины р. Гейзерной. Фото А. Завадской, 2018 г.

формируется за счет подземных и поверхностных вод пяти водоносных комплексов⁹. На участках тепловых анома-

⁹ В бассейне р. Гейзерной выделяются пять водоносных комплексов. Первые четыре представляют собой горизонты грунтовых вод, с которыми связаны многочисленные холодные источники, но наряду с ними отмечаются и разнообразные термопроявления, связанные с подъемом пара и газа к поверхности, конденсацией пара и растворением газа в грунтовых водах. Пятый, самый глубокий – водоносный комплекс напорных термальных вод, которые поднимаются под действием гидростатического давления и выходят на поверхность по трещинам в водоупорной кровле в виде многочисленных гейзеров и кипящих источников. Химический состав этих вод – хлоридно-натриевый с общей минерализацией 1.8–2.2 г/л, расчетная температура воды на глубине на участке разгрузки достигает 150–180 °С (Сугробов и др., 2009).

лий в центральной части долины р. Гейзерной встречаются горячие и кипящие источники и их разновидность – гейзеры, а также струи пара, поля гидротермально измененных пород, нагретая до различных температур почва.

Гейзерная гидротермальная система по выносу тепла является одной из самых мощных на Камчатке. При относительной среднегодовой температуре воздуха около 0 °С общий вынос тепла составляет 314 МВт/год¹⁰. Сумма дебитов¹¹ источников и гейзеров достигает

¹⁰ Сугробов В.М., Сугробова Н.Г., Дроздин В.А., Карпов Г.А., Леонов В.Л. Жемчужина Камчатки – Долина Гейзеров. Научно-популярный очерк, путеводитель. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. 108 с.

¹¹ Дебит – объем жидкости, стабильно поступающий из естественного или искусственного источника в единицу времени.



Рис. 3. Долина смерти со следами серного паводка в русле. Фото С. Черноморца, 2022 г.

100 л/с. Все поверхностные термальные проявления бассейна р. Гейзерной первооткрывательница Долины Т.И. Устинова объединила в три крупных термальных поля¹²: в верховьях реки – Кихпиничевское, в ее среднем течении – Верхнегейзерное, а в низовье – Гейзерное.

Для Кихпиничевского термального поля характерны струи насыщенного пара, грязевые бурлящие котлы и участки нагретого грунта. В приустьевой части ручья Желтого находится термальная площадка Долина смерти, хорошо заметная по желтой окраске поверхности из-за скоплений самородной серы. Для нее типичны выходы газа и прогретые участки грунта с температурой немногим более 20 °С. Свое название участок получил после того, как в 1975 г. сотрудники Института вулканологии РАН В.Л. Леонов и В.А. Воронков обнаружили здесь на поверхности много погибших животных, в том числе птиц. Причиной гибели животных явились выде-

ляющиеся здесь газы, которые содержат сернистые соединения и вызывают тяжелое отравление при вдыхании.

Верхнегейзерное термальное поле вытянуто почти на 2 км по левобережью средней части долины р. Гейзерной и приурочено к лавам докальдерного комплекса. Основные термальные проявления в этом районе – мощные струи насыщенного пара, кипящие или грязевые бессточные котлы. Гейзерное термальное поле расположено в нижнем течении реки Гейзерной и протягивается почти на 5 км. Именно в этой части долины происходит основная разгрузка высокотемпературных подземных вод в виде разнообразных источников – горячих, кипящих, постоянных и пульсирующих – и, конечно, гейзеров, самый крупный из которых (гейзер Грот) выбрасывает струю кипящей воды на расстояние около 60 м¹³.

¹² Устинова Т.И. Камчатские гейзеры. М.: Географгиз, 1955. 120 с.

¹³ Леонов А.В. Каталог гейзеров Кроноцкого заповедника / Долина гейзеров и кальдера Узон: история и современность. М: Издательство ООО «Реарт», 2017. 384 с.

Также здесь отмечают выходы пара, грязевые кипящие котлы, прогретые участки грунта. Это самое большое термальное поле в долине р. Гейзерной, и именно этот участок и получил собственное название – Долина гейзеров.

Большая часть самых эффектных гейзеров, в том числе 19 из 23 впервые описанных и поименованных Т.И. Устиновой в 1955 г.¹⁴, находятся в центральной части Долины. В 1970-е гг. в результате работ экспедиции Института вулканологии общее число их уже 74, в настоящее время в каталоге гейзеров Долины, составленном А.В. Леоновым в 2017 г., выделены 122 гейзера и кипящих источника с собственным именем (Грот, Большой, Фонтан и др.). Подавляющее число гейзеров и крупных источников расположено в днище долины реки и на ее левом борту. На более высоких отметках встречаются лишь небольшие источники и гейзеры, выше которых находятся только выходы пара.

Площадки вокруг источников и гейзеров и сами их постройки сложены кремнистым туфом, или гейзеритом, – горной породой, состоящей преимущественно из опала, который осаждается из термальных вод. Это настоящие каменные кружева, поражающие своим разноцветьем, но, несмотря на кажущуюся прочность, они весьма хрупки и легко разрушаются при любом, даже слабом механическом воздействии. Удивительно красивы натечные стенки Витраж и карликовых гейзеров.

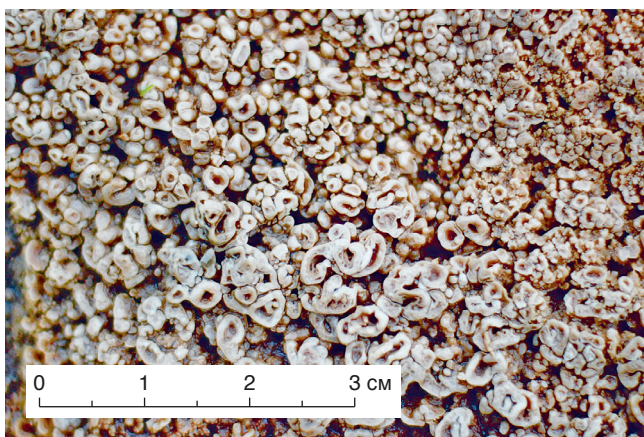


Рис. 4. Строение гейзерита.
Фото В. Яблокова, 2013 г.

Естественные термальные проявления являются также местами обитания уникальных термофильных организмов, развивающихся при температурах 45 °С и выше и обладающих способностью выживать в экстремальных условиях. Мало того, что термофилы выдерживают температуру почти до точки кипения, они еще могут благоденствовать в средах, содержащих такие токсичные элементы, как мышьяк, сурьма, ртуть. Вокруг гейзеров и в термальных водоемах Долины гейзеров развиваются колонии нитчатых цианобактерий, одноклеточных и многоклеточных диатомовых и зеленых водорослей, архей¹⁵.

Все участки в пределах обширного Гейзерного поля, выделенные еще Т.И. Устиновой, за последние годы претерпели значительные изменения. С чем же это связано? Попробуем разобраться.

¹⁴ Устинова Т.И. Камчатские гейзеры. М.: Географиз, 1955. 120 с.

¹⁵ Археи – прокариотные микроорганизмы, у которых нет клеточного ядра, они, возможно, являются древнейшими живыми существами, населяющими Землю.

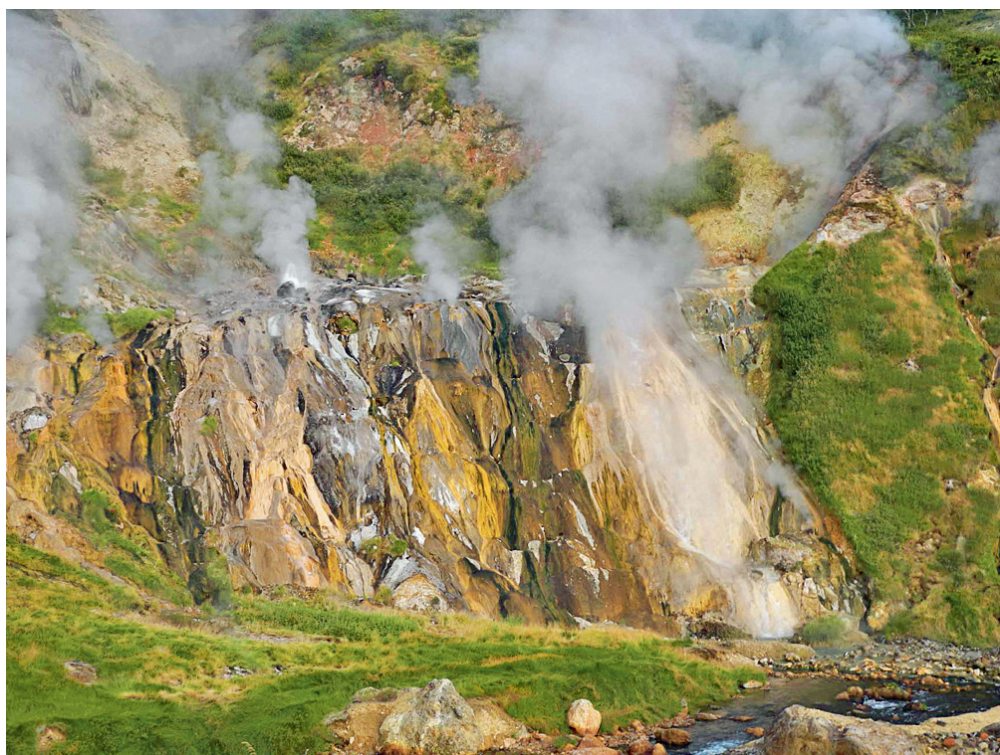


Рис. 5. Натечная стенка Витраж, сложенная гейзеритом.
Фото Е. Лебедевой, 2020 г.

РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Водотоки, формирующиеся на участках гидротермальной активности, подвергаются весьма специфическому химическому и термальному воздействию, в результате чего их воды становятся теплыми и минерализованными. Под действием кислых и щелочных растворов, образующихся при конденсации пара и растворении газов, идет активный процесс изменения горных пород. В местах выхода воды и газа твердые (скальные) горные породы постепенно превращаются в относительно мягкие

глины¹⁶. Они легко размываются поверхностными водами, но самое главное – пластичные и хорошо увлажненные глины способствуют образованию оползней, заметно влияющих на морфологию долин и рельеф гидротермальных зон в целом.

Этот процесс идет еще более интенсивно за счет дополнительного увлажнения глин при выпадении атмосферных осадков, особенно в периоды прохождения циклонов и при снеготаянии. Способствуют формированию оползней и многочисленные сейсмические толчки, характерные для активных вулканических территорий. Наиболее динамичное развитие оползней в ус-

¹⁶ Этой проблеме посвящена серия работ Ю.В. Фроловой с коллегами.



Рис. 6. Следы активных гравитационных процессов на склонах долины р. Гейзерной.
Фото Е. Лебедевой, 2021 г.

ловиях непрерывного процесса гидротермального изменения скальных горных пород наблюдается на участках выходов пара в виде отдельных струй или площадного парения. В таких зонах формируются расширения речных долин с иногда достаточно крупными оползневыми террасами; сами долины нередко из-за этого приобретают четковидную форму, т.е. напоминают в плане четки, т.к. участки расширения чередуются с сужениями. Подобное явление типично для территорий высокой гидротермальной активности большинства вулканических регионов мира. В долине р. Гейзерной также наблюдаются аналогичные расширения, которые соответствуют Верхнегейзерному и Гейзерному полям. Здесь на бортах долины видны следы актив-

ных склоновых смещений – мощных обвалов и оползней, которые начали формироваться по крайней мере с середины голоцена (примерно 6 тыс. лет назад), а последние произошли уже в начале XXI в.

Только за 40 лет наблюдений на территории Долины гейзеров зафиксированы три крупных обвала-оползня, сопровождавшихся селеобразованием. Оползень 4 октября 1981 г. был спровоцирован прошедшим над Камчаткой тайфуном «Эльза». Оползневые массы перегородили русло р. Гейзерной, но были размыты, в результате чего образовался сель, который прошел по руслу реки вплоть до ее устья; пострадали несколько гейзеров. Второй, а также самый крупный и известный обвал-оползень, произошедший 3 июня

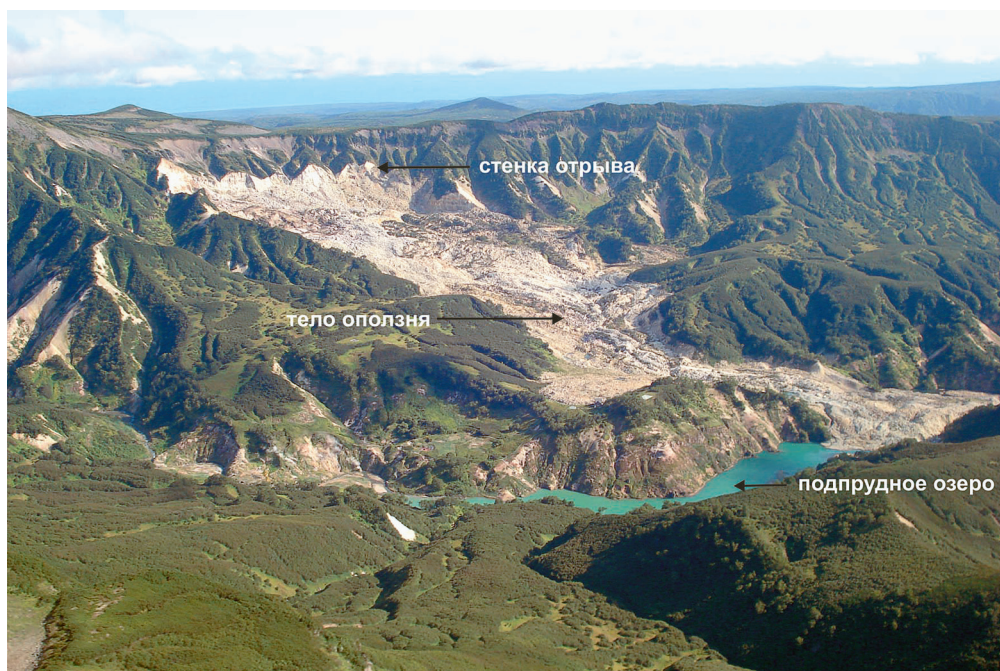


Рис. 7. Стенка отрыва, тело оползня и сформировавшееся подпрудное озеро 2007 г.
Фото А. Завадской, 2008 г.



Рис. 8. Обвал 2014 г. (справа) и плотина образовавшегося подпрудного озера (в центре).
Фото с БПЛА А. Медведева, 2021 г.



Рис. 9. Долина р. Гейзерной после схода селевого потока 2014 г. Фото А. Завадской, 2018 г.

2007 г., представлял собой сложное комплексное явление и сочетал обвально-осыпные, оползневые, селевые и солифлюкционные процессы¹⁷. Поток накрыл большую часть бассейна ручья Водопадного и распространился вниз по долине р. Гейзерной. Объем перемещенных пород составил около 21 млн м³. В результате схода оползня исчезли все термопроявления долины ручья Водопадного и ряда участков Гейзерного термального поля – знаменитые гейзеры Тройной, Сахарный, У водопада, Ворота в Гейзерную, Первенец и другие. Третий крупный обвал произошёл 4 января 2014 г. в верховьях до-

лины р. Гейзерной (Верхнегейзерное поле) в результате обрушения края лавового потока сопки Желтой¹⁸. Так же, как и в предыдущем случае, обрушившаяся масса, перегородив реку, привела к образованию подпрудного озера. Объем обвалившейся части борта долины составил немногим менее 3 млн м³. Река Гейзерная оказалась перекрытой фронтальной частью оползня на протяжении 700 м, максимальная мощность отложений над руслом составила 22 м. Часть их стала основой для образования грязевого потока, скорость которого была весьма велика: на поворотах русла реки сформировались заплески высотой до 15 м и местами даже до

¹⁷ Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Дроздин В.А., Карпов Г.А., Леонов В.Л. Жемчужина Камчатки – Долина Гейзеров. Научно-популярный очерк, путеводитель. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. 108 с.

¹⁸ Леонов В.Л. Обвал и оползень, произошедшие 4 января 2014 г. в Долине Гейзеров, Камчатка, и их последствия // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 1. Вып. 23. С. 7–20.



Рис. 10. Гейзер Большой снова начал свою работу. Видны отложения гейзерита, который в зависимости от примесей минералов может иметь разный цвет. Фото Е. Лебедевой, 2020 г.

40 м. В результате схода селя грязевыми массами был заполнен участок долины реки в нижней части Тройного водопада, была срезана постройка гейзера Жемчужного. Каналы гейзера Великан оказались забиты обломочным материалом, в результате чего ранее фонтанировавший на высоту 25 м гейзер превратился в пульсирующий источник с высотой фонтана не более 1.5 м. Грязекаменный поток уничтожил гейзеритовую постройку гейзера Щель и смотровую площадку у русла реки. Селевые массы частично заполнили подпрудное озеро 2007 г.; напор водных масс способствовал разрушению плотины 2007 г., в результате чего постепенно озеро стало спускаться. Однако с течением времени гейзеры, пострадавшие в результате событий 2007 г.,

постепенно начали восстанавливаться: после спуска воды подпрудного озера вновь заработал гейзер Большой; боковая эрозия р. Шумной за 8 лет освободила из каменного плена гейзер Первенец, перекрытый в 2007 г. 7-метровой толщей селевых осадков.

Мы описали лишь несколько наиболее ярких событий, изменивших облик Долины в течение последних лет. Но те или иные изменения происходят здесь постоянно, и внимательный взгляд исследователя не может не заметить на бортах долины р. Гейзерной следы и других, более древних масштабных событий – оползней и обвалов, которые также формировались здесь под воздействием сейсмических толчков, выпадения ливневых осадков либо по совокупности причин.

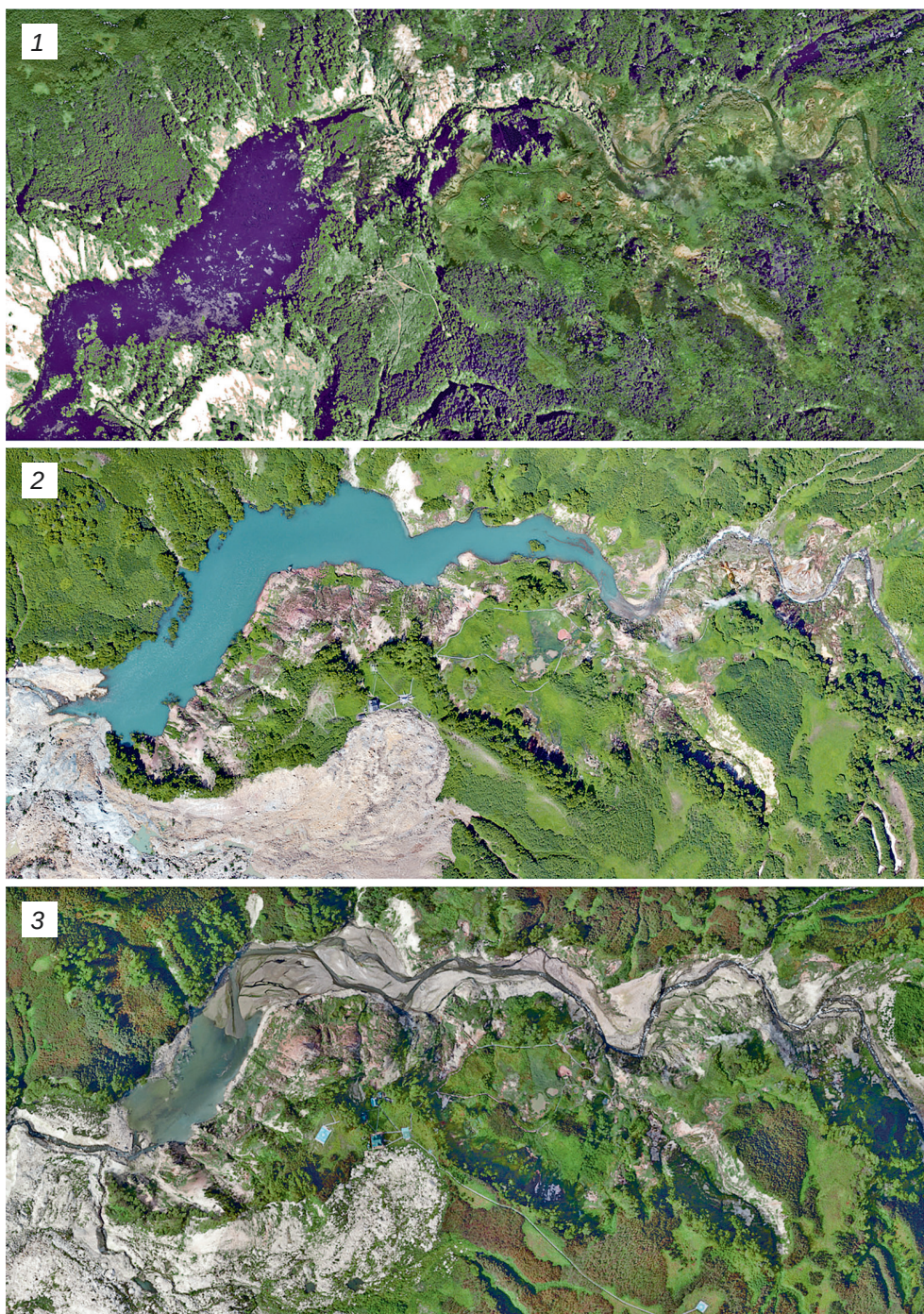


Рис. 11. Аэрофотоснимки, демонстрирующие динамику природного комплекса центральной части долины р. Гейзерной: 1 – долина горной реки с газогидротермальными проявлениями, 16 августа 1998 г.; 2 – обвально-селевая плотина и подпрудное озеро, 12 июля 2007 г.; 3 – частично спущенное озеро 2007 г. и отложения селевого потока, 14 сентября 2014 г.

В 2021–2022 гг. специалисты из Института географии РАН при финансовой поддержке Российского научного фонда¹⁹ проводили работы по исследованию особенностей формирования рельефа и динамики склоновых процессов в долине реки Гейзерной. На основе проведенных работ и дешифрирования разновременных космических снимков высокого разрешения было установлено, что большинство участков активных склоновых процессов за последние 50 лет сосредоточено на левом борту долины реки Гейзерной. Здесь же наиболее велика опасность проявления новых обвальных и оползневых процессов, что обусловлено активным газогидротермальным воздействием на коренные породы.

МЕНЯЮЩАЯСЯ ДОЛИНА ГЕЙЗЕРОВ И ТУРИЗМ

Кроноцкий заповедник – одно из уникальных мест на планете, где имеются все проявления активной вулканической деятельности и в том числе гейзерные поля. Камчатская Долина гейзеров – нетронутая человеком природная система, самая компактная из крупнейших гейзерных районов мира и одна из немногих, где они не исчезли по вине человека. Ведь в связи со строительством гидротермальных электростанций утеряно уже около половины гейзеров в Исландии, 3/4 – в Новой Зеландии и практически все гейзеры в США за пределами Йеллоустонского национального парка. Сегодня за небывалую красоту и исключительное своеобразие Долину называют «визитной карточкой» Камчатки. Несмотря на то, что Долина гейзеров является одной из наиболее популярных природных достопримечательностей полуострова, благодаря грамотной организации

туризма – кратковременным пешеходным экскурсиям по специально оборудованным настильным тропам в сопровождении гида и инспектора заповедника, – она представляет собой образец устойчивого развития экосистем в условиях интенсивного использования для экскурсионной деятельности.

События 2007 г. заставили многих любителей природы изрядно понервничать. В первые дни после природной катастрофы поступала весьма противоречивая информация о состоянии Долины гейзеров и даже о полном ее уничтожении. Оползень 2014 г. снова до неузнаваемости преобразил ландшафт долины в прирусловой части.

Долина гейзеров – это живая, дышащая земля, где на наших глазах происходят рождение и затухание гейзеров, источников, образуются новые формы рельефа, изменяется ландшафт. Здесь внимательному наблюдателю открывается возможность следить за процессами и взаимосвязями, быть свидетелем удивительных преображений, которые вершатся самой Природой. Долина реки Гейзерной – красивая и вечно меняющаяся, как и вся природа нашей прекрасной планеты. Важно любить, изучать, понимать и сохранять ее – многоликую, манящую и такую хрупкую. Происходящие в ней катастрофические события (например, сходы оползней) – это естественный процесс развития подобных территорий. С уничтожением одних гейзеров и источников появляются новые. Человек не вправе вмешиваться в это бесконечное развитие, а может только наблюдать и изучать динамику геологических, геоморфологических и гидрогеологических процессов, а также формирование новых экосистем на суше и в водной среде. Именно так была определена глобальная значимость событий 2007 г. совместной миссией Всемирного союза охраны природы и ЮНЕСКО.

¹⁹ Проект № 21-17-00216.

АСТРОБЛЕМЫ НА ВОСТОКЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ



МАККАВЕЕВ Александр Николаевич¹,
кандидат географических наук

ГУРИНОВ Артем Леонидович¹,
кандидат географических наук, инженер лаборатории геоморфологии института географии РАН

АЛЕКСАНДРОВСКИЙ Александр Леонтьевич¹,
доктор географических наук

ШВАРЕВ Сергей Валентинович^{1, 2},
кандидат географических наук

ЛУГОВОЙ Николай Николаевич^{1, 3}

КАРАВАЕВ Вадим Анатольевич¹,
кандидат географических наук

¹ Институт географии РАН

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

³ Географический факультет МГУ им. Ломоносова

Земля постоянно подвергается бомбардировке астероидами, от которых ее не всегда защищает атмосфера. Чем крупнее падающее тело, тем большие разрушения с ним связаны. Следы, оставленные на поверхности нашей планеты при падении небесных тел, называются «астроблемы». Для того чтобы оценить связанную с ними опасность, необходимо отличать их от других, внешне схожих форм рельефа, а также определять их возраст.

В статье представлены результаты исследования котловины астроблемы озера Смердячее на востоке Московской области. Детально изучены строение вала и рельефа котловины астроблемы этого озера: приведены георадиолокационные разрезы, батиметрические и топографические профили. В работах использовались системы DGPS и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

В разрезах на валу озера были найдены и документированы деформации, связанные с разжижением песчаной толщи во время импактного события – падения метеорита. Были отобраны образцы нарушенного горизонта глин с органикой, свидетельствующие

происхождении котловины озера Смердячее и уточняют возраст импактного события.

АСТРОБЛЕМЫ НА ПЛАНЕТЕ

Даже не очень крупные «небесные гости», всего около 10 м в диаметре, при столкновении с Землей образуют кратеры, которые принято называть астроблемами – звездными шрамами, чтобы отличать их от кратеров, образующихся при извержениях вулканов. Чем крупнее падающее тело, тем оно опаснее, тем большие разрушения с ним связаны. С падением гигантских астероидов связывают даже вымирание многих представителей животного и растительного мира, происходившее несколько раз в истории Земли. К счастью, такие крупнейшие события очень редки и их разделяют десятки и сотни миллионов лет (Шустов Б.М., Нароенков С.А., 2018).

Согласно научным данным, суммирующим известные сведения по импактным структурам, возникавшим на протяжении всей истории Земли,

Батиметрический профиль – профиль, показывающий форму дна водоема.

Вал – узкая и длинная положительная форма рельефа, насыпь, типичный элемент астроблемы, представляющий собой выброшенный материал из взрывной воронки.

Образцы нарушенного горизонта – образцы, полученные из слоя пород, первоначальное залегание которого было изменено (нарушено) каким-то процессом (процессами).

DGPS – система повышения точности сигналов навигационных спутниковых систем, предназначенных для определения местоположения (географических координат) наземных, водных и воздушных объектов.

EDEIS ИВМиМГ СО РАН – Экспертная база данных по импактным структурам Земли Института вычислительной механики и математической геофизики Сибирского отделения РАН.

о его перемещении (опрокидывании) возрастом примерно 10.1 тыс. календарных лет. Полученные новые данные подтверждают гипотезу о космическом

всего обнаружено 1217 таких образований (по данным каталога экспертной базы данных по импактным структурам Земли Института вычислительной

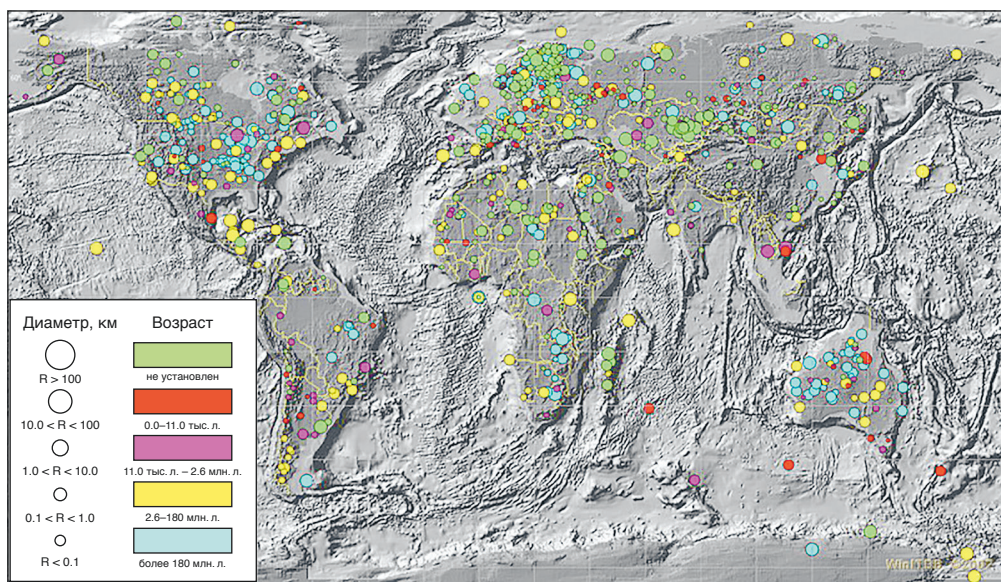


Рис. 1. Карта предполагаемых импактных структур по каталогу EDEIS (<http://tsun.sssc.ru/nh/edeis.html>)

механики и математической геофизики Сибирского отделения РАН – EDEIS ИВМиМГ СО РАН).

Импактные структуры проявляются на поверхности не только в виде непосредственно кратеров с характерной круглой или овальной формой котловины, окруженной валом, но и в виде разнообразных депрессий (понижений земной поверхности), заполненных озерами, болотами, заливами и проливами на морских и озерных побережьях, куполов и холмов, структурных изменений геологического строения. Величины (диаметр) зафиксированных (т.е. достоверно доказанных) импактных образований варьируют от 15 м до 2250 км. Частота встречаемости кратеров находится практически в прямой зависимости от диаметра и, соответственно, величины космического тела и косвенно отражает частоту «бомбардировки» Земли объектами различной крупности. Эта частота достигает одного-двух раз в год для заметных

небесных тел, оказывающих ощутимое влияние на поверхность с выделением энергии более 1 килотонны (в тротиловом эквиваленте).

По менее консервативным оценкам, количество импактных структур на Земле достигает 2–3 тыс.

Неравномерное распределение с наиболее плотным покрытием характерно для Австралии, Северной Америки и Европы, что связано, по-видимому, с сочетанием факторов, способствующих, с одной стороны, консервации структур при слабых воздействиях природных и антропогенных процессов, а с другой – их визуальной доступности при хорошей изученности территории.

Очевидно, что углубленные целенаправленные исследования с применением, прежде всего, высокоразрешающих методов исследования рельефа и поверхностных горизонтов горных пород, количество обнаруживаемых импактных структур может вырасти

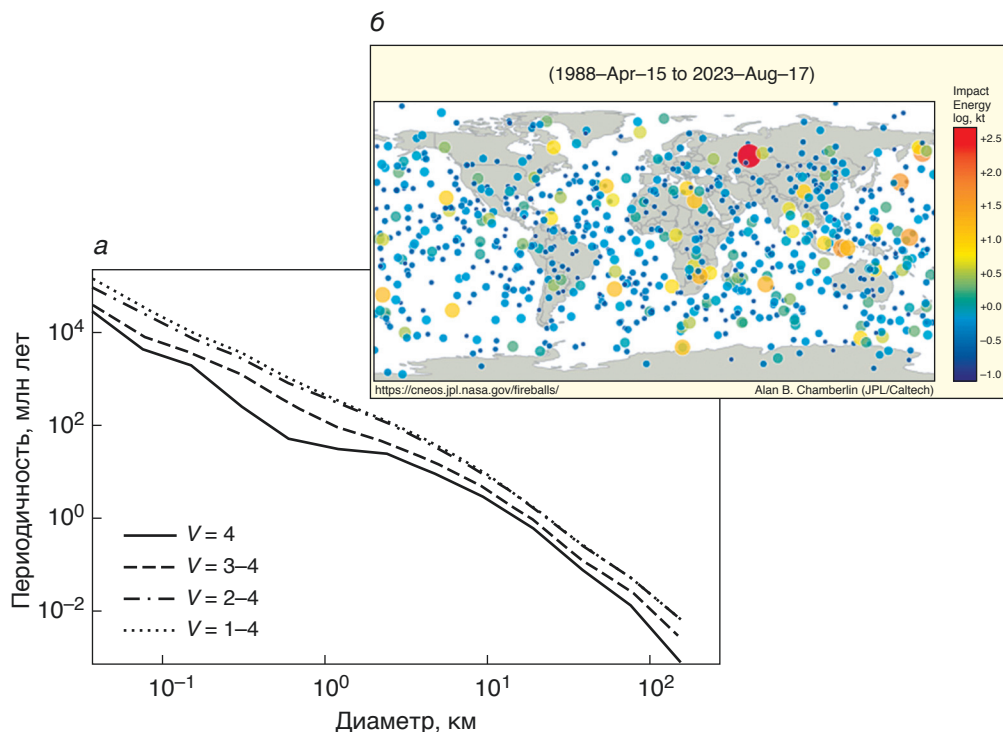


Рис. 2. а – частота встречаемости импактных кратеров в зависимости от диаметра с учетом достоверности данных (по признакам: V1 – строения рельефа; V2 – последовательности напластования (залегания) отложений (пород), составляющих земную кору; V3 – минералогического состава; V4 – наличия метеоритного вещества с высокobarическими изменениями) (Amelin et al., 2013); б – карта болидных взрывов, зарегистрированных инструментальными средствами в период с 1992 г. по настоящее время. Источник: NASA CNEOS <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>

в разы. Особенно это касается небольших импактных кратеров, расположенных в покрытых лесом местностях и не всегда видных на аэро- и космоснимках. Поэтому можно с уверенностью заключить, что имеется значительная перспектива для обнаружения импактных структур, в том числе и в центральной части России.

АСТРОБЛЕМЫ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

За последние десятилетия было высказано предположение, что некоторые округлые глубокие озера на терри-

тории Центральной России образовались в результате падения метеоритов. Трудности отождествления озер с такими импактными событиями определяются тем, что в озерах, как правило, отсутствует вещество метеорита. Это связано с тем, что вещество в значительной мере рассеивается и испаряется при взрыве. Образующееся при взрыве количество оплавленного материала местных пород обычно невелико, поэтому основными признаками должны служить особенности строения самой озерной котловины, наличие кольцевого или подковообразного вала, окружающего озеро. Однако по таким ограниченным признакам к астроблемам

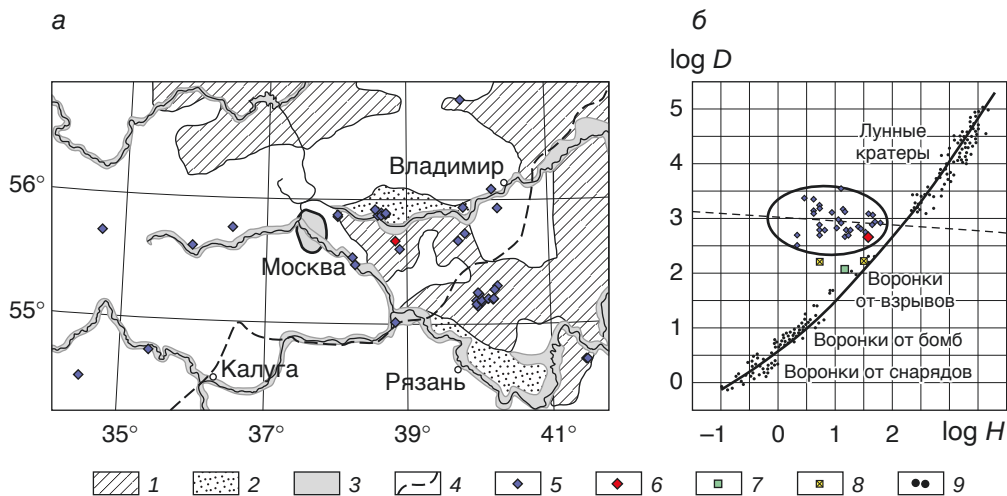


Рис. 3. Астроблемовидные котловины Московского региона (Бронзулеев и др., 2012): а – схема расположения; б – кривая Болдуина – зависимость между диаметром (D) и глубиной (H) взрывных кратеров (Бронштэн, 1987, с дополнениями). Условные обозначения: области распространения (Геоморфологическая карта СССР, 1986): 1 – флювиогляциальных отложений московской ледниковой эпохи; 2 – аллювиальных покровов; 3 – крупные речные долины; 4 – граница московского оледенения; остальная территория представлена моренным и ледниково-эрозионным рельефом; котловины: 5 – озера с установленным неимпактным происхождением; 6 – озеро Смердячее; 7 – кратер Каали (Эстония); 8 – кратер Одесса (США, справа – исходная (реконструированная) форма, слева – современная); 9 – прочие котловины взрывного происхождения; овалом обведены точки котловин Московского региона, пунктир – соответствующая им регрессия

можно отнести котловины другого происхождения и сделать необоснованные выводы.

Широкое распространение круглых озер в Мещерской низменности, локализующихся в трех районах к востоку от Москвы, позволило энтузиасту науки и краеведу Н.А. Филину из г. Шатуры в середине 80-х годов XX века выделить Шатурскую, Туголесскую и Клепиковскую группы и предположить их образование в результате дробления космических тел на самостоятельные фрагменты.

Событие, образовавшее Шатурскую группу, по реконструкции Филина, происходило следующим образом: вначале отделились несколько мелких осколков (озера Смердячее, Лемешенское, Власовское и озеро Пиявочное). Потом космическое тело развалилось на две

части, которые в свою очередь раздробились на несколько частей, образовав группу озер: Белое и Черное Бардуковские, Ярмол и Соколье (со смещением влево от траектории полета) и группу Шатурских озер: Святое, Муромское, Белое и Черное (со смещением вправо). Гипотеза Филина в отношении по крайней мере части озер, к которым относится и озеро Смердячее, была поддержана специалистами (Кестлане, Мелла, 1987) и подтверждена дальнейшими исследованиями.

Что касается большинства озер Московского региона, подходящих по своим параметрам для детальных поисков следов космического происхождения и обладающих основными морфологическими признаками кратеров (округлой формой и наличием вала), то несколько лет назад были предприняты

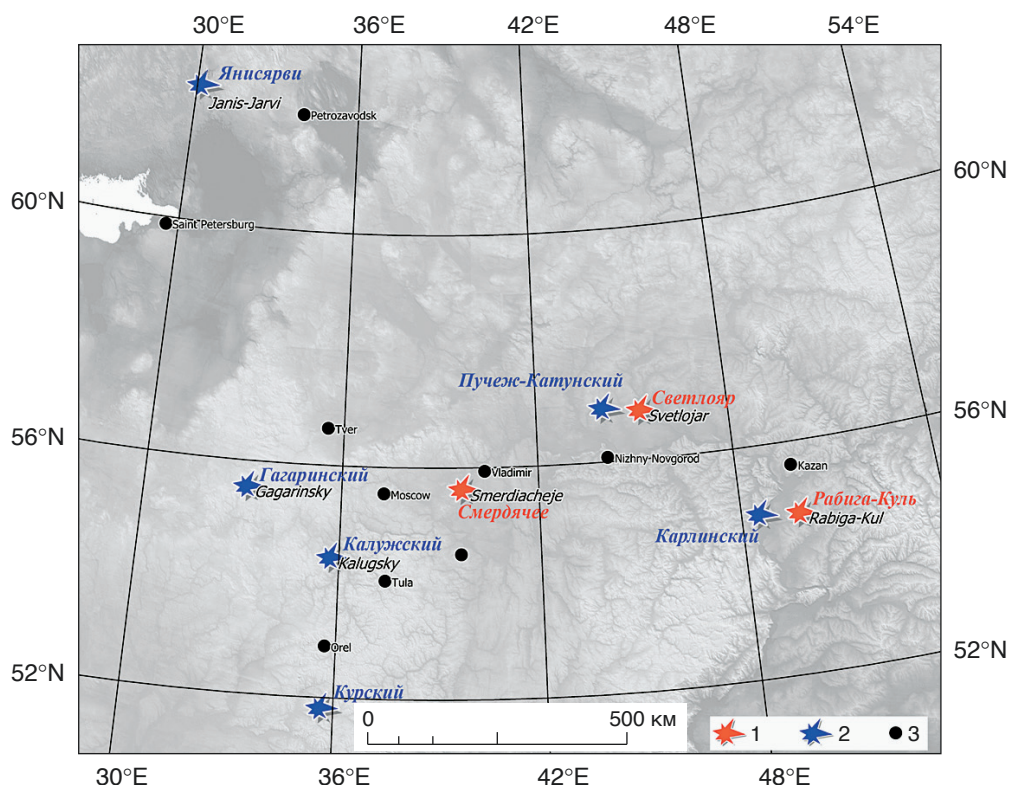


Рис. 4. Обсуждаемые в статье астроблемы на территории центральной России:
1 – молодые метеоритные озера; 2 – погребенные кратеры; 3 – основные города

специальные исследования с целью их сравнительного анализа и выяснения происхождения и возраста (Бронгулеев и др., 2012). Как выяснилось, из 36 перспективных озер окрестностей Москвы только одно (озеро Смердячее) обладает параметрами, позволяющими отнести его к взрывным кратерам.

Большая часть из этих котловин, изученная в натурных условиях, показала довольно разнообразный генезис, связанный главным образом с перигляциальными условиями, т.е. деградацией крупных многолетних бугров пучения, таянием мерзлоты (Жидков и др., 2009; Маккавеев, 2011).

К настоящему времени в Центральной России только для котловин озер: Смердячее (Московская область), Свет-

лояр (Нижегородская область) (Енгальчев, 2009), Рабига-Куль (Республика Татарстан) (Сунгатуллин и др., 2016) собраны данные, которые являются вескими свидетельствами в пользу метеоритной природы.

Озеро Смердячее изучено к настоящему времени наиболее детально.

ОЗЕРО СМЕРДЯЧЕЕ

В 140 км к юго-востоку от Москвы, у слияния небольших рек Воймега и Поля, принадлежащих бассейну Клязьмы – крупного притока реки Оки, расположено озеро Смердячее (на некоторых картах оно носит название Смердячье).



Рис. 5. Группа Шатурских озер (а); оз. Смердячее на космическом снимке (б); оз. Смердячее с высоты «птичьего полета» (съемка БПЛА) (в)

К настоящему времени уже не вызывает серьезных возражений, что котловина озера образовалась в результате падения метеорита. Доказательства импактного генезиса котловины включают три составляющие: а) рельеф вала и котловины; б) изменения горных пород и минералов – наличие расплавленных и раздробленных горных пород и минералов (импактиты); в) изменения в первичном залегании приповерхностных горизонтов пород (постседиментационные деформации).

Рельеф. Озеро находится на обширной речной террасе, общей для рек Поля и Воймега, имеет округлую форму и окружено валом диаметром по гребню 330–370 м, местами достигающим высоты 5–6 м над озером. Над окружающей равниной вал возвышается всего на 1–2 м, а в самой высокой северо-восточной своей части – более чем на 3 м. Размер зеркала воды 240 × 260 м (максимально до 290 м). По соотноше-

нию основных элементов рельефа котловина озера относится к типичным астроблемам. Подводная часть котловины, имеющая форму перевернутого конуса, уходит на аномально большую глубину – около 30 м, не характерную для озер такого размера в центре Восточно-Европейской равнины, а также обладает асимметрией в плане со смещением центра в северо-восточном направлении (45–50°) на 20–30 м.

Импактиты. Характерные стекловатые импактиты были обнаружены непосредственно в песках насыпного яруса вала, окружающего озеро (Badjukov et al., 2003) и к северу от котловины на расстоянии до 3 км (Kashkarov et al., 2005).

В толще рыхлых нестратифицированных песчаных отложений вала на глубине около 20 см были обнаружены фрагменты пород красновато-коричневого цвета, сложенные мелкими обломками, сцементированными стекло-

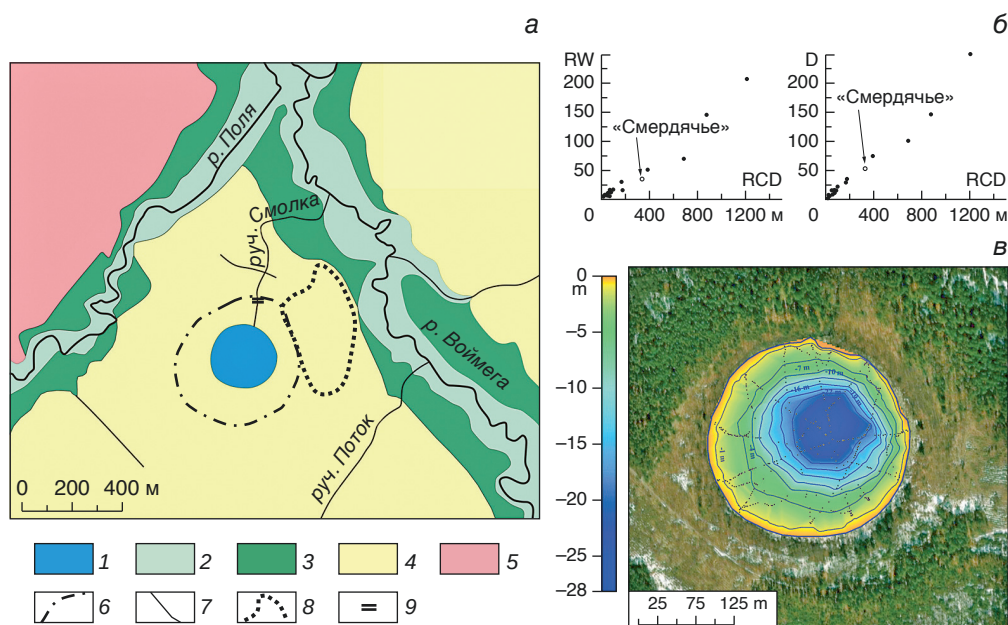


Рис. 6. Геоморфологическая позиция и морфология дна озера Смердячее: а – геоморфологическая схема: 1 – акватория озера; 2 – днища долин рек Поля и Воймега; озерно-аллювиальные (речные) террасы: 3 – нижняя валдайская терраса; 4 – верхняя валдайская терраса; 5 – среднечетвертичная (?) терраса; 6 – внешняя граница вала; 7 – русла ручьев; 8 – холмисто-грядовый рельеф; 9 – остатки плотины; б – соотношения основных морфологических параметров известных импактных структур (черные точки) и котловины озера Смердячее (белый кружок (звездочка)): RCD – диаметр по гребню кольцевого вала; D – глубина котловины (от гребня вала до дна); RW – ширина вала по радиусу из центра котловины (Енгальцев, 2009); в – батиметрическая карта котловины озера по данным эхолотирования (изобаты проведены через 5 м)

ватой массой. При исследованиях с помощью электронного микроскопа были установлены зерна кварца, полевого шпата и циркона в расплавленной матрице пузырчатой текстуры. Крупные зерна (>150–200 мкм) округлой формы, а более мелкие – угловатые и в некоторых случаях имеют разрушенные края или новообразованные ореолы. Расплавленная матрица состоит из коричневого или, реже, бесцветного прозрачного стекла, включающего древовидные кристаллы герцинит-магнетитового состава и пироксенов (Badjukov et al., 2003).

Образец, найденный в 3-х км к северу от озера в разведочной канаве в песчаных отложениях, представляет собой

фрагмент темно-зеленого стекла округлой формы размером $2.5 \times 1.5 \times 1.5$ см, покрытый белой коркой толщиной в несколько мм. Стекло полностью изотропно, обладает флюидальной текстурой и содержит небольшое количество пузырьков. Образец оказался пригодным для термолюминесцентного датирования, результаты которого показали возраст в несколько тысяч лет (<10 тыс. лет) (Kashkarov et al., 2005).

Анализ импактитов свидетельствует об их естественном происхождении и быстром формировании в результате ударного расплава. Судя по типовым параметрам, свойственным размерности кратера, образованного в рыхлых отложениях (Melosh, 1989), выделен-

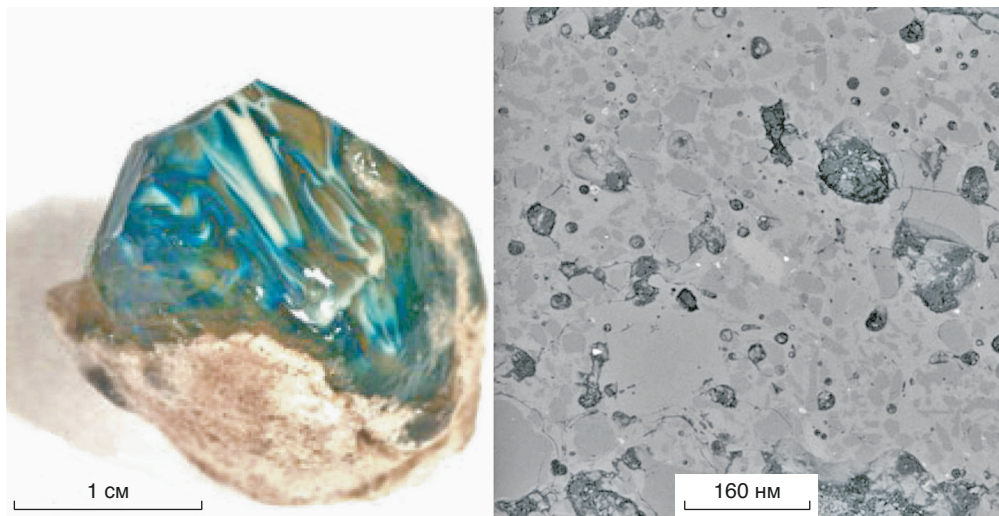


Рис. 7. Импактиты озера Смердячее: а – образец породы, обнаруженный к северу от озера (Kashkarov et al., 2005); б – текстура импактита, из кольцевого вала: округлые и угловатые зерна кварца и полевых шпатов (темно-серые) в стекловидной матрице (серая) (Badjukov et al., 2003)

ная энергия импактного события должна быть около 10^{15} Дж (Badjukov et al., 2003). Для сравнения, при возникновении стометрового ударного кратера Маникуаган в Канаде при столкновении с астероидом диаметром 5 км выделившаяся энергия составила около 10^{23} Дж.

Выбросы коренных пород. В насыпном ярусе, сложенном преимущественно песками, многочисленны обломки прочных подстилающих пород: белого каменноугольного известняка, кремнистых известняков, кремней, доломитов.

В коренном залегании такие горные породы находятся в районе озера Смердячее на глубине 63–69 м, а их мощность составляет около 38–42 м. На внутренних склонах вала этот материал особенно обилен и залегает в приповерхностных горизонтах. За пределами вала озера Смердячее каменный материал, кроме единичного присутствия гальки и гравия, не обнаружен. Наличие обломков известняков свиде-

тельствует о выбросе их с глубины при ударном воздействии.

Имеются определенные признаки, свидетельствующие об участии карстовых процессов в функционировании озера и частично формировании его котловины. О периодических изменениях уровня воды, присущих карстовым озерам, можно судить и по стоящим на мелководье стволам, и по рассказам старожилов, а также по результатам исследования донных осадков, проведенных сотрудниками Института озероведения РАН (Сапелько и др., 2013). По-видимому, карстовый режим озера установился в результате первично-механического образования полости в кровле известняков.

Деформации кольцевого вала. В строении вала выделяются цокольный ярус (деформированные и приподнятые породы основания кратера, возникшие в результате «бульдозерного эффекта» взрывной волны – отжимания от центра кратера и смятия по-



Рис. 8. Выбросы обломочного материала на поверхность: а – глыба доломита в насыпной песчаной части вала: ниже глыбы захороненный горизонт органики (палеопочвенный горизонт в перевернутом состоянии); выше глыбы – современная почва; б – обломки известняков, извлеченные из вала

род) и насыпной ярус (отложения выбросов из кратера). Породы основания разбиты надвигами и взбросами. Они вскрыты разрезами и прослеживаются на радарограммах. Деформации быстро затухают при удалении от озера. Для внутреннего строения вала также характерно опрокинутое залегание («перевернутость») слоев. По результатам обработки георадиолокационных данных в толще аллювиальных и флювиогляциальных (образованных потоками талых ледниковых вод последнего континентального оледенения) отложений, слагающих террасу реки Поля, были выявлены многочисленные признаки деформаций (наклонные оси синфазности, пересечение осей синфазности и т.д.).

Ширина зоны деформаций составляет от 60 до 100 м. Северный борт котловины озера более пологий, верхняя валовая толща как бы «надстраивает» подстилающую поверхность террасы (аллогенные отложения). Мощность верхней валовой толщи 2.5–3 м – пески

с редкими признаками деформации, налегающие на исходные отложения террасы. Южный борт котловины озера более крутой, мощность верхней (аллогенной) валовой толщи здесь несколько меньше. Границы между отдельными пачками песков неровные, что фиксируется пересечением осей синфазности на радарограммах, множество выклинивающихся пачек. В подстилающих (аутигенных) породах на глубинах около 1.5–3 м (не были вскрыты шурфами) также отмечены многочисленные признаки деформации, а их амплитуда становится больше с увеличением глубины и по мере приближения к озеру. В отложениях встречаются редкие включения – вероятно, это относительно крупные обломки горных пород, которые создают гиперболы дифракции на радарограммах. Материалы георадиолокации иллюстрируют морфологическую и структурную асимметрию вала и могут быть интерпретированы как доказательство ее ударно-метеоритного генезиса, не исключающего вероятность

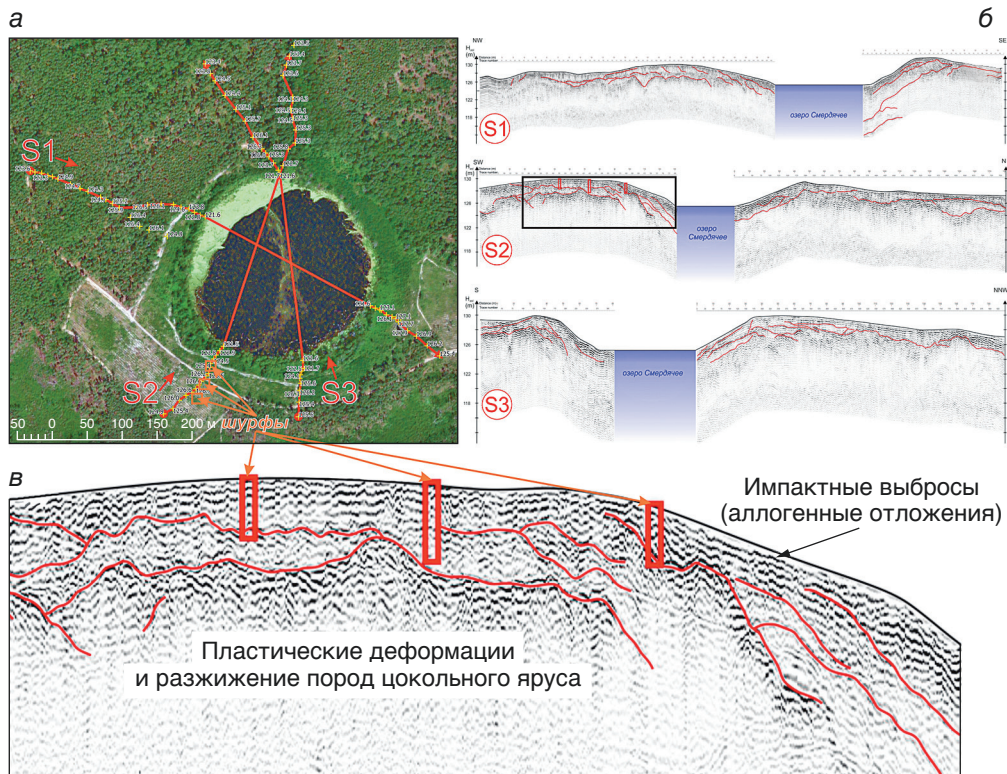


Рис. 9. Строение внешней части импактной структуры озера Смердячее:
а – расположение георадарных профилей; б – разрезы по линиям профилей;
в – фрагмент профиля s2 с расположением шурфов

последующей карстовой моделировки дна и бортов котловины.

В глинисто-песчаной толще, слагающей вал за пределами зоны наброса, наблюдаются сильные изменения, образовавшиеся после формирования отложений. Они связаны с разжижением верхней песчаной толщи (фрагментирование глинистых прослоев, вертикальное перемешивание, гомогенизация), а также с пластическими (выдавливание) и отчасти хрупкими (трещинообразование) деформациями нижележащих глин. Взаимоотношение глин с вышележащими песками имеет сложный характер, и часто можно наблюдать проникновение песков в толщу глин по наклонным и вертикальным трещинам.

Возраст события. На молодой возраст импактного события озера Смердячее указывает хорошая сохранность кратера (котловины озера) и окружающего его вала в современном рельефе. Строение вала показывает, что исходная почва на месте разрезов отсутствует, вероятно, она была уничтожена (содрана) под действием ударной волны. Примерно на уровне погребенной (т.е. находящейся не на земной поверхности, а скрытой толщей других пород) поверхности располагается переотложенная при ударе глинистая черная структура с органическими включениями – озерно-болотными отложениями, которые состоят из крупных и мелких фрагментов.

Видны ее смятия и переслоение с песком. Из прослоев этих озерных глин по-



Рис. 10. Шурф на юго-западном берегу озера Смердячее:
 а – общий вид шурфа; б – фрагмент разреза: перевернутый глинистый горизонт с органикой
 и местами отбора проб на абсолютный возраст

лучены радиоуглеродные датировки: на глубине 105 см это 10 486–11 398 календарных лет, а по образцу с глубины 130 см возраст немного меньше – 10 114–10 897 календарных лет. Эти даты определяют нижний предел возраста события, которое произошло, по-видимому, сразу после формирования наиболее молодых слоев глин с органикой. Инверсия возрастов доказывает, что при образовании вала, формирующие его отложения были перевернуты и прежние верхние слои оказались залегающими под нижними слоями, что могло произойти только при перемещении отложений взрывом, т.е. ударной волной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупность данных по рельефу котловины озера Смердячее, по деформациям отложений и ударным изменени-

ям горных пород достаточно обоснованно свидетельствует об импактном характере котловины. Можно считать доказанным и возраст события, произошедшего около 10.5 тыс. лет назад. Однако остается неясным вопрос о полной реконструкции события: направления полета болида и количества обломков.

Возвращаясь к предположениям Н.А. Филина о «Шатурском импактном поле» и множественности астроблем, сформировавшихся распавшимся на фрагменты космическим телом, мы обратили внимание на озеро Белое Бардуковское, расположенное в 12 км к юго-западу от озера Смердячее и входящее в предполагаемую группу. В результате батиметрической и георадиолокационной съемки выяснилось, что котловина с менее выраженным, но все-таки характерным кольцевым валом и несколько меньшей глубиной

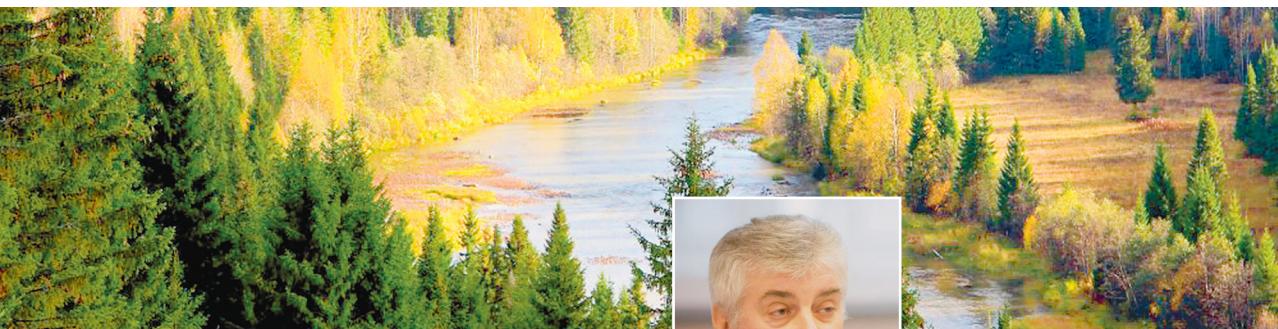
дна (около 20 м), обладает одним важным свойством, роднящим ее озером Смердячим – явно выраженной плановой асимметрией глубин со смещением наиболее глубокой части в том же северо-восточном направлении и даже с совпадением по азимуту (40–50°). При этом на дне озера, в отличие от Смердячьего, наблюдается две котловины, расположенные тоже на северо-восточной оси. По-видимому, оба озера – это свидетели одного и того же события, характеризующегося падением двух (или трех) фрагментов метеорита. Более крупный из фрагментов сформировал котловину озеро Смердячее, глубина которого достигает кровли известняков и которое развивается в карстовом режиме, а другие фрагменты – котловину озера Белое Бардуковское и, возможно, соседние впадины, дно которых, вероятно, кровли известняков не достигло. Вполне обоснованно можно оценить и направление полета болида: с юго-запада на северо-восток, что существенно дополняет модель события и дает нам новые перспективы исследований.

Работа над статьей финансировалась из средств ГЗ по теме FMGE-2019–0005.

Литература

1. Шустов Б.М., Нароенков С.А. Найти опасный астероид, пока он не нашел нас. Земля и Вселенная. 2018. № 4. С. 16–29. DOI: 10.31857/S004439480000568-5
2. Lyapidevskaya Z.A., Gusiakov V.K., Amelin I.I. Expert database on the Earth impact structures (EDEIS) // Certificate of state registration of the database No. 2011620863 from 07.12.2011, Rospatent. <http://tsun.sscc.ru/nh/impact.php>
3. Amelin I.I., Gusiakov V.K., Lyapidevskaya Z.A. Estimates of the impact frequency of cosmic bodies on the Earth. Bull. Nov. Comp. Center. 2013 P. 1–17.
4. Кестлане Ю.В., Мелла К.Х. Новые вероятные четвертичные метеоритные кратеры СССР // Тез. Докл. XX Всесоюз. Метеоритной конф. Таллинн-М.: Изд-во АН СССР, 1987. Ч. 1. С. 47–48.
5. Бронгулеев В. Вад., Маккаеве А.Н., Макаренко А.Г. Каталог астроблемовидных котловин Московского региона и некоторые результаты его анализа // Геоморфология. 2012. № 3. С. 32–43.
6. Жидков М.П., Бронгулеев В. Вад., Макаренко А.Г. Котловины озер Красное и Данилище в Московской области: реликтовые криогенные формы или метеоритные кратеры? // Геоморфология. 2009. № 1. С. 26–34.
7. Жидков М.П., Караваяев В.А., Маккаеве А.Н., Лихачева Э.А. Строение и происхождение астроблемовидной котловины озера Бездон // Природа и история Погугорья. Калуга: Изд-во Н.Ф. Бочкаревой, 2009. Вып. 5. С. 12–18.
8. Маккаеве А.Н. Механизм образования некоторых астроблемовидных озер на примере озера Светлое (Московская область) // Геоморфология. 2011. № 3. С. 61–73.
9. Геоморфологическая карта СССР. М-6 1 : 2500000. М.: ГУГК, 1986.
10. Бронштэн В.А. Метеоры, метеориты, метеороиды. М.: Наука, 1987.
11. Енгальцев С.Ю. «Светлояр» – новая импактная структура на территории Европейской России // Разведка и охрана недр. 2009. № 8. С. 3.
12. Сунгатуллин Р.Х., Цельмович В.А., Вафин Р.А., Сунгатуллина Г.М. Геоморфологические и геолого-минералогические признаки импактного происхождения озерной котловины Рабига-Куль, Республика Татарстан // Геоморфология. 2016. № 1. С. 64–72.
13. Badjukov D.D., Brandstatter F., Ivanova M.A., Korochantsev A.V., Kurat G., Lorents C.A., Nazarov M.A. and Ntaflou T. The Smerdyachee lake; a possible impact crater near Moscow, Russia // Lunar and planetary science. 2003. Vol. XXXIV. P. 1566.
14. Kashkarov L.L., Badjukov D.D., Ivliev A.I., Kalinina G.V., Nazarov M.A. The Smerdyachee Lake: New evidence for impact origin and formation age // Lunar and planetary science. 2005. Vol. XXXVI. P. 1822. <https://geomorphology.igras.ru/jour/article/view/796>
15. Melosh H.J. Impact Cratering. A Geologic Process. Oxford University Press, New York. 1989.
16. Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., Науменко М.А., Баянов Н.Г. К вопросу о происхождении озер средней полосы России // VIII Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода: 2013. С. 561–563.

НОВАЯ МЕТОДОЛОГИЯ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ РОССИИ



БАРТАЛЁВ Сергей Александрович,

доктор технических наук

Институт космических исследований РАН



ЛУКИНА Наталья Васильевна,

член-корреспондент РАН

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН



DOI: 10.7868/50044394823050043

15–16 февраля 2023 г. по инициативе Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ) РАН на базе Института космических исследований (ИКИ) РАН состоялась конференция «Углерод в наземных экосистемах: мониторинг. Реализация важнейшего инновационного проекта государственного значения “Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ”». В конференции приняли участие более 100 человек и более 20 организаций, а основной темой обсуждения стали научные и методологические основы построения будущей национальной системы мониторинга бюджета углерода в назем-

ных экосистемах России. Такая система мониторинга создается согласно подписанного в октябре 2022 г. председателем Правительства Михаилом Мишустиным распоряжения¹ о реализации инновационного проекта «Единая

¹ Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2022 г. № 3240-р Об утверждении важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» и плана мероприятий («дорожной карты») по реализации первого этапа (2022–2024 гг.) важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»: [rasporyazhenie-vip-gz-Nº -3240-r-29.10.2022-1.pdf](https://rasporyazhenie-vip-gz-n-3240-r-29.10.2022-1.pdf) (vfanc.ru).

национальная система мониторинга климатически активных веществ». На конференции были определены перспективы создания национальной системы мониторинга бюджета углерода в наземных экосистемах, основой которой должна стать тесная интеграция данных дистанционного зондирования Земли из космоса и информации выборочных наземных наблюдений, собираемой на репрезентативной сети пробных площадей и тестовых полигонов.

Глобальное потепление в настоящее время ставится в ряд важнейших проблем человечества, требуя организации непрерывного мониторинга не только происходящих изменений климата Земли, но и регулярного сбора информации о сопряженных процессах для изучения причинно-следственных связей и выработки оптимальных стратегий адаптации социально-экономической системы и смягчения потенциальных негативных последствий. Несмотря на продолжающуюся полемику о причинах климатических изменений, большинство ученых в настоящее время связывают их, прежде всего, с нарастанием содержания в атмосфере парниковых газов (в основном углекислого газа и метана), вызванного преимущественно сжиганием ископаемого топлива и промышленными загрязнениями. Лесам и некоторым другим наземным экосистемам при этом отводится роль естественного поглотителя атмосферного углекислого газа с депонированием (связыванием) углерода в растительной биомассе и почве, что на современном этапе научно-технического развития рассматривается, наряду с экологизацией промышленного производства, в качестве одного из основных механизмов снижения парникового эффекта. В этой связи к России как к стране с наибольшей в мире площадью лесов, обладающих огром-

ным ресурсно-экологическим потенциалом и выполняющих разнообразные экосистемные функции, включая регулирование цикла углерода и климата, проявляется повышенное внимание мирового научного сообщества и международных политических институтов.

С принятием Парижского соглашения², направленного на практическое осуществление положений Рамочной конвенции ООН по изменению климата, и утверждением Правительством Российской Федерации Стратегии низкоуглеродного развития³ проблема объективной оценки потенциала лесов нашей страны по поглощению и связыванию атмосферного углерода приобрела чрезвычайную важность. Одновременно это обострило полемику, ведущуюся на протяжении ряда лет научным сообществом, в отношении надежности оценок запасов и объемов годичного депонирования углерода в лесах России, получаемых на основе официальной лесоучетной информации.

В отдельных работах⁴ ставится под сомнение представление о лесах страны как о чистом поглотителе углерода с учетом эмиссий парниковых газов в атмосферу в результате воздействия на экосистемы пожаров и других крупномасштабных деструктивных факторов. При этом для получения такого рода оценок часто рассматриваются временные периоды и регионы

² Парижское соглашение по климату осуществляется с 1 января 2021 г. в ратифицировавших его 186 странах мира. Согласно Постановлению Правительства от 21 сентября 2019 г. № 1228 Российская Федерация является стороной этого соглашения.

³ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.

⁴ <https://www.nature.com/articles/s41561-022-01087-x>



Рис. 1. Концептуальная схема системы мониторинга углерода в лесах России.
Источник: Барталёв С.А., Стыценко Е.А.

аномально высокой активности природных пожаров, а в качестве источников данных о характеристиках лесов и масштабах их повреждений нередко используется информация неизвестного уровня достоверности. Наиболее остро обсуждаются результаты, полученные на основе государственной лесосочетной информации с использованием различных методических подходов, часто приводящих к получению противоречивых оценок способности лесов страны по поглощению углерода. Это связано с существенным превышением установленных нормативных сроков обновления материалов лесосурейства, значительной систематической недооценкой объемов древесной биомассы, наличием неучтенных лесов (например, на заброшенных сельскохозяйственных землях) и некоторых других системных факторов, лимитирующих возможности непосредственного применения имеющейся учетной

информации о лесах. Это, в свою очередь, диктует острую необходимость поиска альтернативных путей получения регулярно актуализируемых и надежных данных о запасах углерода в лесах страны.

Объективная оценка способности лесов России поглощать и депонировать углерод требует организации их непрерывного мониторинга на всей территории страны, что, с учетом ее огромных размеров, возможно только с использованием современных технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса⁵. На решении этой задачи в последние годы сосредоточены значительные усилия ученых и специалистов Российской академии наук, включая коллективы ИКИ РАН

⁵ Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. Центр коллективного пользования «ИКИ-мониторинг»: новые возможности использования технологий спутникового мониторинга Земли // Земля и Вселенная. 2021. № 5.

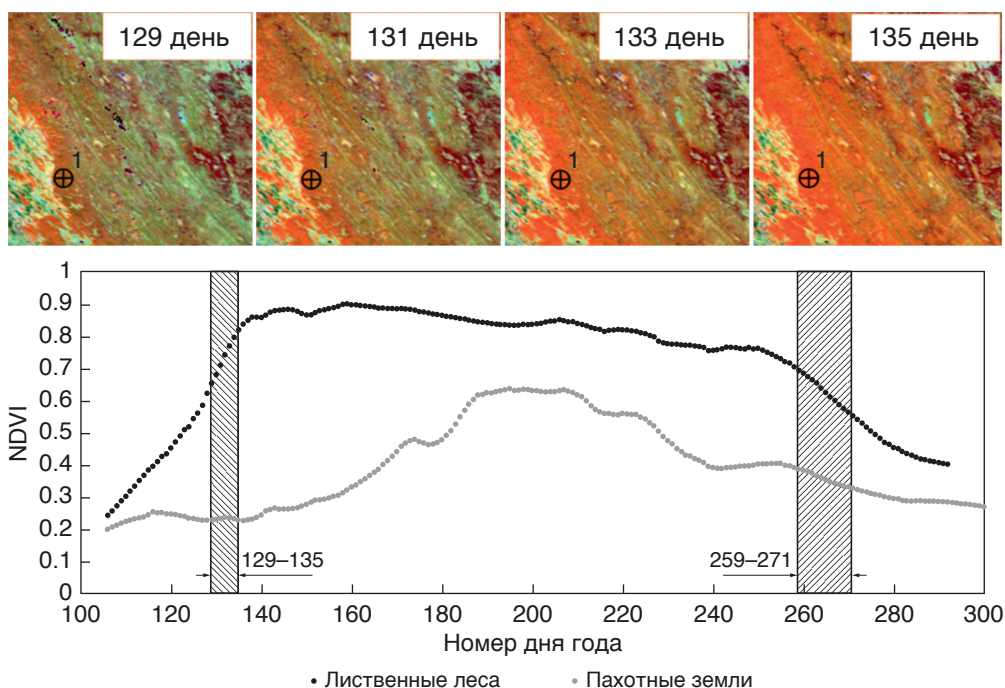


Рис. 2. Спутниковые изображения, характеризующих сезонные изменения наземных экосистем южноуральского региона в 2021 г. на основе обработки данных измерений спектрально-отражательных характеристик земной поверхности спектрорадиометром MODIS со спутника Terra. Внизу – диаграмма сравнения сезонной динамики индекса NDVI для лиственного леса (точка 1) и пахотных земель (точка 2). Источник: Барталёв С.А., Миклашевич Т.С.

и ЦЭПЛ РАН. В частности, реализованный в период 2019–2022 гг. в рамках Президентской программы поддержки лабораторий мирового уровня проект Российского научного фонда «Космическая научная обсерватория углерода лесов России» позволил развернуть масштабные исследования в области применения методов ДЗЗ из космоса для решения задач мониторинга углерода в лесах нашей страны. Принципиально новое развитие эти работы в настоящее время получают в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» в части

разработки национальной системы мониторинга запасов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России. Распоряжение о реализации данного проекта, направленного на снижение негативного влияния изменений климата на экономику и качество жизни граждан, в октябре 2022 г. подписал Председатель Правительства Российской Федерации М.В. Мишустин. Национальная система мониторинга углерода в наземных экосистемах призвана обеспечить получение независимой информации о влиянии функционирования последних в условиях комбинированного действия природных и антропогенных факторов на



Рис. 3. Логическая схема метода оценки запасов углерода в лесах России.

Источник: Барталёв С.А., Хвостиков С.А.

изменения климата в современный период и в будущем и станет основой для выработки в нашей стране управленческих стратегий по снижению выбросов углерода от социально-экономической деятельности.

Разрабатываемая система мониторинга основана на интеграции данных ДЗЗ из космоса и информации выборочных наземных наблюдений с моделями динамики экосистем для получения, в частности, ежегодных оценок запасов углерода в растительной биомассе и почвах лесов России. Разработанные к настоящему времени методы обеспечивают возможность регулярного получения ряда ключевых характеристик, необходимых для оценки накопленного в лесах страны углерода, включая запас стволовой древесины, преобладающую древесную породу,

возраст и продуктивность древостоев. Комплексное использование методов ДЗЗ с данными выборочных наземных измерений характеристик насаждений для сети пробных площадей и тестовых полигонов открывает возможности получения оценок запасов углерода в растительной биомассе лесов России, обладающих высоким уровнем пространственной детальности, при их ежегодной актуализации.

Эффективное использование спутниковых данных ДЗЗ требует проведения их глубокой предварительной обработки, направленной на коррекцию и фильтрацию измерений спектрально-отражательных характеристик подстилающей поверхности, находящихся под влиянием различного рода искажающих факторов, таких как неоднородность пропускной способности

атмосферы, наличие облаков и их теней, различия геометрических условий освещения и наблюдения земного покрова. Прошедшие коррекцию и фильтрацию спутниковые изображения служат основой реконструкции непрерывных временных рядов данных, характеризующих сезонную и межгодовую динамику спектрально-отражательных характеристик земной поверхности. Получаемые в результате данные используются в дальнейшем в качестве признаков для распознавания и картографирования различных типов наземных экосистем, определения характеристик растительного покрова, выявления и оценки его повреждений под воздействием различных деструктивных факторов. Многолетние спутниковые данные ДЗЗ обеспечивают возможность определения методами машинного обучения ключевых характеристик лесов, включая запас стволовой древесины, проективное покрытие, преобладающую породу, возраст и продуктивность древостоев, выявлять и оценивать участки их нарушений под воздействием пожаров и других деструктивных факторов.

Метод определения запасов углерода в растительной биомассе лесов основан на совместном использовании данных ДЗЗ из космоса, информации выборочных наземных измерений характеристик насаждений на пробных площадях и комплексе моделей, описывающих динамику насаждений и взаимосвязи между различными их характеристиками. В качестве источников информации для формирования опорных данных для обучения алгоритмов распознавания и оценивания лесных и других наземных экосистем служат результаты выборочных наземных обследований, включающих использование существующих пробных площадей и сети тестовых полигонов с проведением деталь-

ных измерений характеристик всех ярусов растительности и почв, необходимых для оценки их запасов углерода.

Наиболее обширная и актуальная выборочная информация о лесных экосистемах получена к настоящему времени методами наземной оценки в рамках проводимой силами ФГБУ «Рослесинфорг» Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ). Национальная сеть ГИЛ охватывает все регионы страны и насчитывает более 60 тыс. постоянных пробных площадей, заложенных в период с 2007 г. по настоящее время. В значительной мере информация по существующей сети пробных площадей ГИЛ может быть использована для формирования опорных данных, необходимых для калибровки и подтверждения результатов дистанционного мониторинга запасов углерода растительной биомассы лесов. Вместе с тем сеть пробных площадей ГИЛ, в силу их размещения и относительно небольших размеров (около 30 м в диаметре), далеко не всегда оптимальна для калибровки используемых для решения задач мониторинга углерода лесов данных ДЗЗ, пространственное разрешение которых меняется в широком диапазоне значений от 10–500 м. В этой связи с целью формирования массивов опорных данных, в большей степени отвечающих по своим характеристикам требованиям спутникового мониторинга углерода в лесах страны, начиная с 2023 г. на территории России начато создание специализированной сети, включающей более 1300 тестовых полигонов. Каждый такой полигон охватывает территорию размером 2×2 км, на которой с шагом 200 м создается регулярная сеть пробных площадей, где специалистами ФГБУ «Рослесинфорг» проводятся детальные наземные измерения характеристик растительного покрова и собираются



Рис. 4. Карта преобладающих древесных пород лесов России. На территории европейской части России в центральных и южных регионах доминируют лиственные леса, а на севере преобладают хвойные древостои. В Сибири и на Дальнем Востоке наибольшую площадь занимают лиственничные леса. Источник: Барталёв С.А., Жарко В.О.

почвенные образцы для последующего анализа на содержание углерода.

Важным элементом метода оценки содержания углерода в лесах страны являются различные типы эколого-математических моделей, используемые в комплексе с данными ДЗЗ и выборочной наземной информацией. В первую очередь это модели, позволяющие оценивать на основе измеряемых по данным ДЗЗ характеристик лесов их запас углерода с использованием коэффициентов конверсии из объема древесной фитомассы. Коэффициенты конверсии позволяют преобразовать запас древесины в массу углерода

живых фракций древесных растений (стволы, ветви, листва, корни) в зависимости от породы, возраста и продуктивности насаждений. Аналогичные модели существуют и для преобразования объема детрита (сухостой, валежник, пни, сухие ветви) в массу углерода.

Другая необходимая часть комплекса моделей направлена на описание связей между различными характеристиками лесов. К такому роду моделей в первую очередь следует отнести уравнения хода роста лесов, описывающие для основных древесных пород изменения запаса древесины, средних значений высоты и диаметра стволов



Рис. 5. Карта запасов стволовой древесины лесов России. Наибольшие запасы древесины находятся в центральных районах европейской части, на юге Сибири и Дальнего Востока. Источник: Барталёв С.А., Егоров В.А.

в зависимости от возраста насаждений и их продуктивности. В рамках разработанной методологии эти модели призваны обеспечить возможность получения значений характеристик, не подлежащих непосредственной оценке по данным ДЗЗ (например, возраст насаждений), и также используются для прогнозирования роста лесов (например, для моделирования процессов восстановления на вырубках и гарях). Необходимо также использование моделей, обеспечивающих вычисление объема фракций мортмассы (сухостоя, валежника, пней, сухих ветвей) на основе их взаимосвязи с запасом древесины в ненарушенных лесах в зависимости от древесной породы, возраста и продуктивности насаждений.

Необходимы также модели скорости разложения в лесах сухостоя и валежника, зависящей от древесной породы и региональных климатических условий.

Разработанной методологией мониторинга углерода в лесах России предполагается ежегодное построение (актуализация) по данным ДЗЗ совокупности динамических карт, отражающих пространственное распределение типов растительного покрова (наземных экосистем) и характеристик лесов.

Карты преобладающих древесных пород формируются на основе классификации временных рядов данных ДЗЗ, отражающих особенности сезонной динамики спектрально-отражательных характеристик насаждений различных пород в течение вегетационного

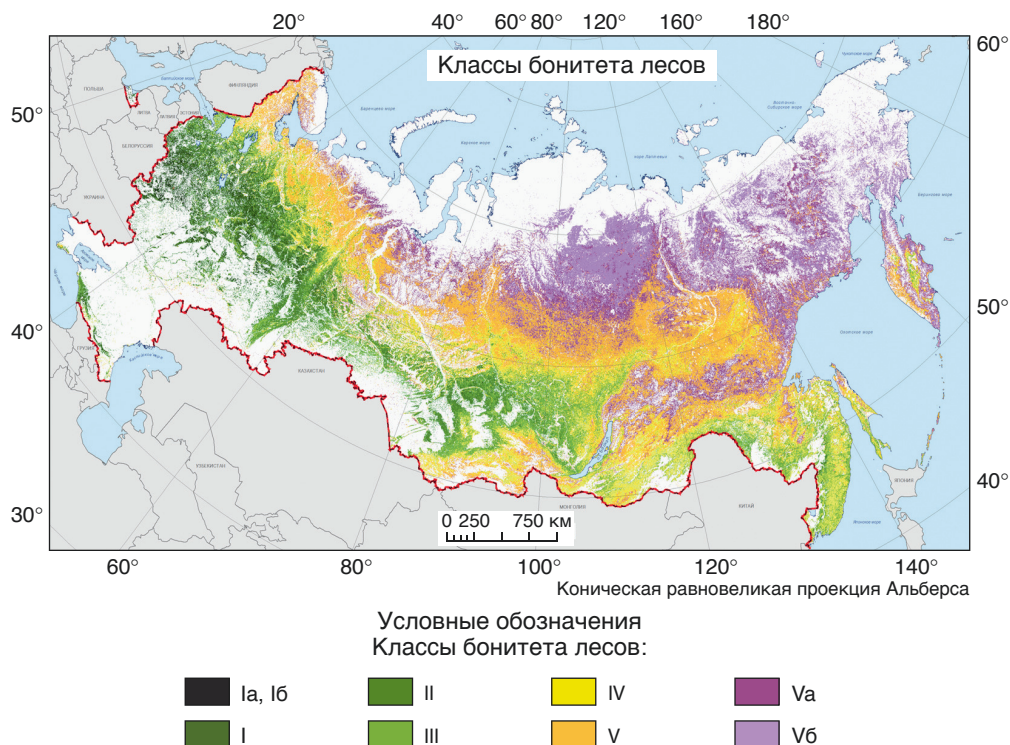


Рис. 6. Карта классов бонитета лесов России. Наиболее продуктивные леса (классы бонитета I, II и III) произрастают в центральных и южных регионах европейской части России, а также на территории Центральной Сибири. Обширные пространства северных регионов Сибири и Дальнего Востока заняты низкопродуктивными лесами V-го класса бонитета). Источник: Барталёв С.А., Хвостиков С.А.

периода. Ежегодно обновляемые карты характеризуют пространственное распределение основных древесных пород в лесах России и их многолетнюю динамику. В рамках разработанной методологии эти карты используются на различных этапах для оценки продуктивности и возраста лесов, выбора конверсионных коэффициентов преобразования запаса древесины в массу углерода фракций живого и мертвого органического вещества, применения моделей хода роста насаждений.

Одним из ключевых элементов разработанной методологии дистанционной оценки запасов углерода лесов Рос-

сии является ежегодная оценка их объемов древесины, используемая в дальнейшем для определения древесной фито- и мортмассы насаждений. В основе метода оценки объемов древесины лежит использование спутниковых композитных изображений земной поверхности со снежным покровом, полученных в красной и ближней ИК-областях спектра. Оценка объемов древесины насаждений с построением многолетнего ряда ежегодных карт выполняется с помощью множественной непараметрической регрессии методом случайных лесов. При этом на первом этапе проводится оценка сум-

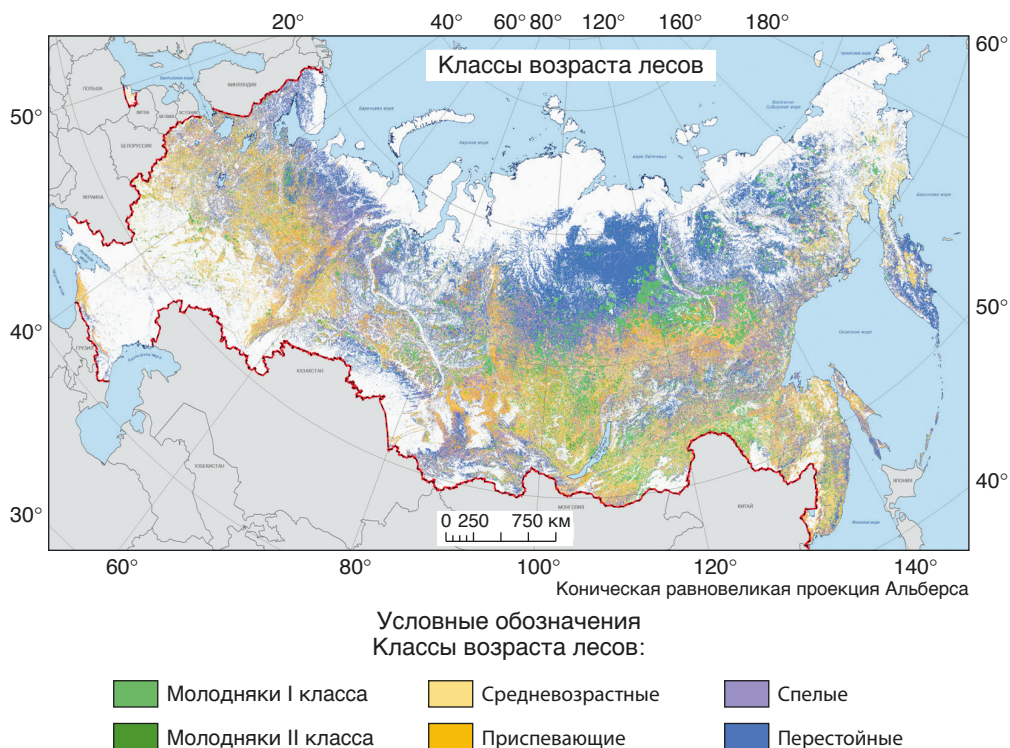


Рис. 7. Карта классов возраста лесов России. Молодые и средневозрастные леса в основном сосредоточены в среднеширотных и южных регионах, старые – на труднодоступных северных территориях. Источник: Барталёв С.А., Хвостиков С.А.

марных объемов древесины растущих и сухостойных деревьев с их последующим разделением на основе модельных соотношений, зависящих от древесной породы, продуктивности и возраста насаждений.

Результаты дистанционной оценки площади и полноты (определяется по сумме площадей горизонтальных сечений стволов на высоте 1.3 м) лесов, входят в число ключевых параметров, необходимых для моделирования динамики объемов древесины на основе моделей хода роста насаждений. Эти показатели оцениваются методами множественной непараметрической регрессии с использованием ежегодных спутниковых изображений,

полученных на основе значений яркости в красном и ближнем инфракрасных диапазонах, измеренных при наличии снежного покрова на земной поверхности.

Разработанной методологией мониторинга углерода в лесах предусмотрена оценка их продуктивности, выражаемая показателем бонитета насаждений. Эксперименты показали, что совместное применение моделей хода роста лесов с использованием данных о динамике запаса древесины, древесной породе и некоторых других вспомогательных характеристик позволяет с высоким уровнем достоверности оценивать класс бонитета лесов. Полученные оценки бонитета необходимы для



Рис. 8. Карта пространственного распределения удельных запасов углерода в растительной биомассе лесов России по состоянию на 2021 г. Леса с более высокими запасами углерода преобладают в европейской части России, на юге Западной Сибири и Дальнего Востока. Источник: Барталёв С.А., Хвостиков С.А.

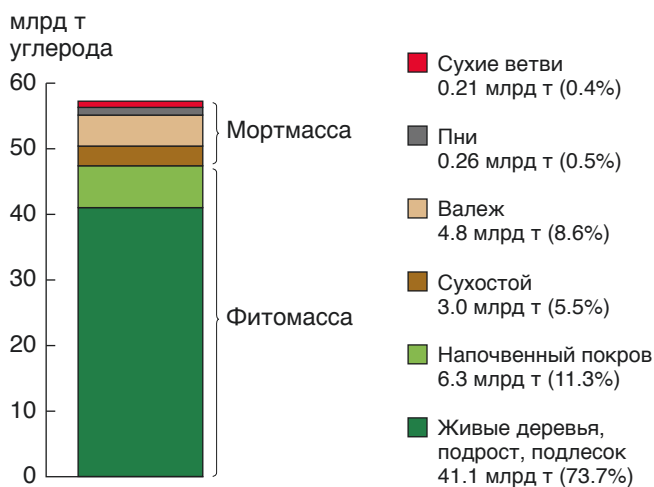
использования в моделях преобразования объема древесины в массу углерода и для моделирования лесовозобновления в нарушенных лесах.

Получение информации о классе бонитета и преобладающей древесной породе насаждений дает возможность оценить их возраст, пользуясь его связью с объемом древесины, однозначно определяемой моделями хода роста лесов. Информация о возрасте насаждений позволяет использовать модели преобразования объема древесины в массу углерода и оценивать фракции древесной мортмассы лесов.

Чтобы определить запас углерода лесов необходима информация о про-

исходящих в них изменениях, вызванных природными (пожары, ветровалы, усыхания от болезней и вредителей) и антропогенными (рубки, техногенные загрязнения) деструктивными факторами. Наиболее масштабным фактором деструктивного воздействия на леса являются природные пожары. В рамках предлагаемой методологии предусмотрено получение данных об изменениях лесов в результате пожаров на основе тематических продуктов, полученных по данным ДЗЗ и содержащих информацию о пройденных огнем территориях с разделением их на классы по степени повреждения лесов. Для выявления

Рис. 9. Распределение запаса углерода по фракциям растительной биомассы в лесах России в 2021 г. Источник: Барталёв С.А., Хвостиков С.А.



нарушенных лесов также используются существующие информационные продукты, отражающие участки изменений лесного покрова, такие как, например, Global Forest Change (<https://data.globalforestwatch.org/>). Для разделения участков вырубок и вызванных различными факторами усыхания лесов используется дополнительная информация об их транспортной доступности. Комплексное использование полученной информации дает возможность оценки площади нарушений лесного покрова пожарами, рубками и прочими воздействиями.

Использование полученных карт повреждений лесов позволяет оценивать доли растущих деревьев и сухостоя на гарях и в усыхающих по другим причинам насаждениях, а также определять объем древесины вырубленных лесов. Кроме того, имеющиеся данные о динамике объема древесины насаждений позволяют оценивать интенсивность процесса вывала сухостоя на гарях и на участках усыхания лесов, а наличие информации о древесной породе и классе бонитета дает возможность моделировать процесс лесовосстановления на основе моделей хода роста.

Применение разработанной методологии обеспечивает возможность оценки запасов углерода в лесах. Модельные коэффициенты позволяют оценивать распределение запаса углерода растущих деревьев по их основным фракциям (листья, ветви, ствол с корой, корни) с учетом имеющихся данных о древесной породе, классе бонитета, возрасте и полноте лесов. Использование моделей мортмассы позволяет на основе информации о древесной породе, объеме древесины, возрасте и классе бонитета лесов, оценивать содержание углерода в сухостое, валежнике, пнях и сухих ветвях. Применение указанных моделей в нарушенных лесах для описания процессов разложения сухостоя и валежника, а также для моделирования динамики подроста, позволяет детально учитывать динамику углерода фитомассы и мортмассы на вырубках, гарях и на участках усыхания по различным причинам.

Разработанный на основе предложенной методологии прототип автоматизированной технологии оценки запасов углерода в лесах России предусматривает последовательное выполнение следующих этапов:

1. Формирование на основе многолетних данных ДЗЗ и выборочных наземных измерений временных рядов ежегодных карт растительного покрова, преобладающих пород, запасов древесины и характеристик горизонтальной структуры лесов;

2. Использование полученных данных о многолетней динамике запасов, преобладающей породе и показателях горизонтальной структуры совместно с моделями хода роста насаждений для получения карт актуальных оценок возрастной структуры и продуктивности лесов;

3. Получение ежегодных данных о нарушениях лесного покрова. Информация об участках вырубок и усыхий формируется на основе совместного анализа результатов спутникового мониторинга, степени повреждения лесов и информации о транспортной доступности территории и включает в себя оценки доли площади нарушенных лесов;

4. Оценка запасов углерода в поврежденных лесах: объема и массы углерода мертвой растительности на основе региональных регрессионных моделей. Модельные коэффициенты конверсии применяются для выделения растущего запаса из результатов обработки данных ДЗЗ и оценки объема пулов мортмассы с использованием полученной информации и данных о преобладающей породе, продуктивности и возрасте лесов. Углерод пулов мортмассы рассчитывается с использованием региональных таблиц плотности с учетом преобладающей породы насаждений; углерода пулов фитомассы на основе полученных данных о растущем запасе древесины, информации о характеристиках лесов и региональных конверсионных коэффициентов; моделирование углерода напочвенного покрова на основе

характеристик лесов и моделей динамики фитомассы;

5. Оценка запасов углерода в поврежденных лесах: для участков поврежденных лесов выполняется моделирование их восстановительной динамики на основе информации о возрасте. Кроме того, на основе динамики объемов древесины поврежденных лесов проводится оценка интенсивности вывала сухостойных деревьев с последующим моделированием процесса их разложения и эмиссии углерода.

Практическое применение разработанной методологии комплексного использования спутниковых данных ДЗЗ, выборочных наземных наблюдений и моделирования позволило получить уникальные картографические продукты и количественные данные о ежегодных запасах углерода в растительной биомассе лесов России в 2001–2021 гг., включая оценки его содержания в различных фракциях фитомассы и мортмассы⁶.

Согласно полученным данным, в 2021 г. в растительной биомассе лесов России в целом содержалось около 55.76×10^9 т углерода. Наибольший вклад в общий запас углерода лесов вносит фитомасса деревьев, включая древостой, подрост и подлесок, совокупно содержащий около 42.1×10^9 т углерода (73.7%). Доля запаса углерода в фитомассе живого напочвенного покрова составляет около 11.3%, в то время как различные фракции мортмассы совокупно содержат около 14.9% общего запаса углерода в растительной биомассе лесов. Анализ временно-го ряда ежегодных карт запаса углерода в лесах России позволил установить, что в 2001–2021 г. его общая величина

⁶ Барталёв С.А., Лупян Е.А. Современные возможности спутникового мониторинга растительности // Земля и Вселенная. 2008. № 2.

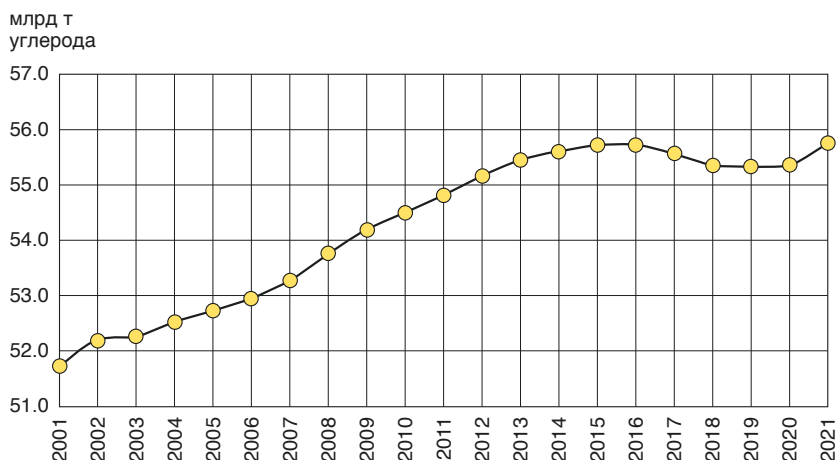


Рис. 10. Динамика общего запаса углерода в растительной биомассе лесов России.
Источник: Барталёв С.А., Хвостиков С.А.

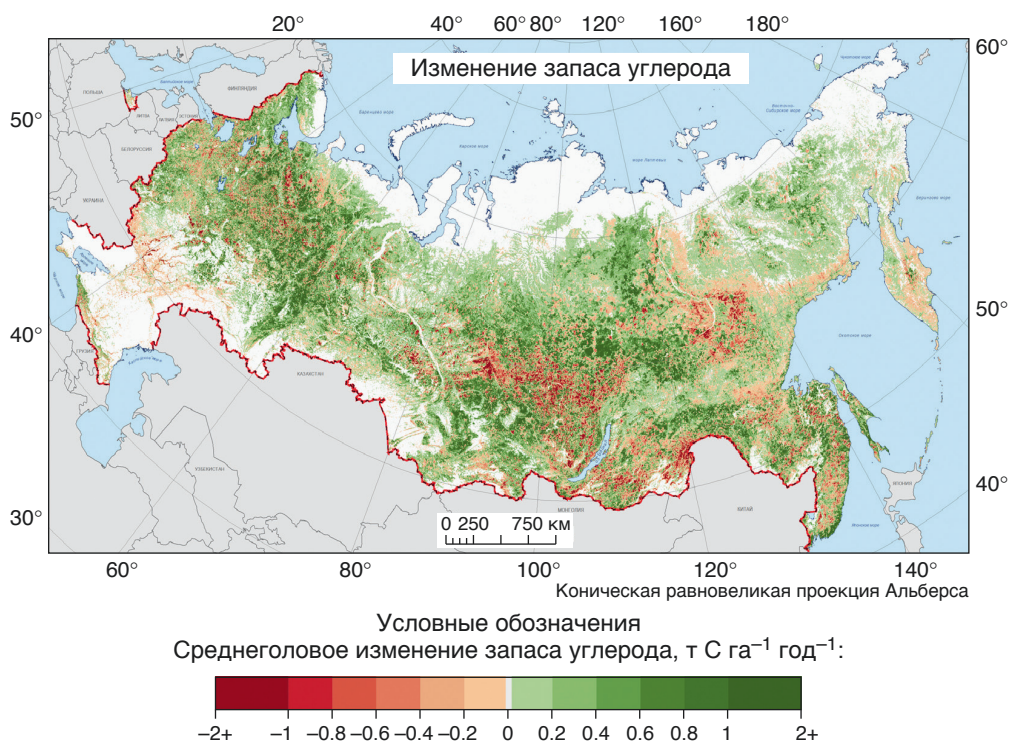


Рис. 11. Среднегодовое изменение запаса углерода в лесах России, 2001–2021 гг. Карта позволяет выделить территории как с положительной, так и с отрицательной динамикой запасов углерода в лесах. Снижение запасов углерода относится к участкам поврежденных лесов различными деструктивными факторами. Источник: Барталёв С.А., Стыценко Е.А.

выросла на 7.8%, т.е. с 51.7×10^9 т до 55.8×10^9 т, наглядно демонстрируя положительную тенденцию со среднегодовой скоростью нарастания около 210.5×10^6 т углерода в год. При этом средние многолетние изменения запасов, средний ежегодный баланс углерода в лесах России за рассматриваемый период составили около 200.6×10^6 т углерода в год. На карте среднегодового изменения запаса углерода в лесах России в 2001–2021 гг. позволяет выделить территории как с положительной, так и с отрицательной динамикой. Очевидно, что снижение запасов углерода в лесах преимущественно относится к участкам с повреждений различными деструктивными факторами: рубки, пожары, биогенные и другие усыхания. В современных условиях регулярное получение оценок запаса углерода в лесах на всей территории России возможно лишь при условии интеграции данных ДЗЗ из космоса, математических моделей и информации выборочных наземных наблюдений на сети тестовых участков.

Результаты выполненных исследований будут положены в основу создания постоянно действующей системы мониторинга углерода в лесах России, а также при условии проведения необходимой адаптации и развития в дальнейшем могут быть использованы и для расширения области применения системы мониторинга на другие наземные экосистемы страны. Разработанные научно-технические решения обладают рядом уникальных возможностей мониторинга углерода в лесах на основе комплексного использования данных космических наблюдений различного пространственного и временного разрешения, опорных данных, получаемых на наземной наблюдательной сети в сочетании с эколого-математическими моделями.

Оптимальное сочетание возможностей дистанционного зондирования из космоса, методов математического моделирования и выборочных данных наземных наблюдений позволит восстановить ретроспективную динамику запасов углерода в лесах (в перспективе и в других наземных экосистемах), разработать необходимые методические и технологические решения для ежегодного мониторинга его параметров в масштабах всей страны с беспрецедентным уровнем полноты, достоверности, пространственной детальности. Это, в свою очередь, создаст надежную информационную основу для полной и объективной оценки поглощения парниковых газов наземными экосистемами, позволит осуществлять подготовку надежных данных для формирования национальной отчетности и обеспечит научно-информационную поддержку участия Российской Федерации в международных соглашениях по климату. Разработка такой системы мониторинга также позволит осуществлять сценарное моделирование влияния различных вариантов управления лесами (охрана от пожаров и защита лесов, восстановление и выращивание лесов, др.) на бюджет углерода лесных экосистем и возможности поглощения ими парниковых газов.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ТРЕТИЙ «ЛУННЫЙ КОРАБЛЬ» ИНДИИ ДОСТИГ ЦЕЛИ

ШУБИН Павел Сергеевич,

писатель, популяризатор космонавтики

DOI: 10.7868/50044394823050055

14 июля 2023 г. со стартового комплекса Космического центра имени Сатиша Дхавана в Шрихариоте, Индия, был осуществлен запуск ракеты-носителя LVM3-M4 с автоматической лунной станцией «Чандраяан-3» (Chandrayaan 3, «Лунный корабль») Индийской организации космических исследований (ISRO).

Запуск прошел успешно и станция была выведена на опорную эллиптическую орбиту спутника Земли со следующими параметрами: наклонение – 21.31°; высота в перигее – 138 км; высота в апогее – 36 306 км; период обращения – 639.97 мин. (по данным Стратегического командования США).

Это была уже вторая индийская станция для мягкой посадки на Луну. Первой был «Чандраяан-2», запущенный в июле 2019 г. Тогда ISRO удалось вывести искусственный спутник Луны, который успешно функционирует до сих пор¹, но посадочный модуль «Викрам» 6 сентября 2019 г. разбился о поверхность Луны.

Согласно публикациям в индийской прессе, анализ миссии «Чандраяан-2» выявил несколько ошибок. Первая – двигатели развили немного большую тягу, чем планировалось. Отличие было небольшим, но привело к каскаду маленьких проблем, которые начали накапливаться. В частности, перед станцией поставили задачу сесть в район размерами порядка 500 × 500 м. Стан-

ция попробовала это сделать, для чего начала увеличивать скорость, хотя ее нужно было снижать, тем более что при разгоне она стала тратить топливо, необходимое для торможения.

Этот опыт был учтен. В новый аппарат залили заметно больше топлива, усилили его конструкцию и увеличили расчетный район посадки до эллипса 4 × 2.5 км.

Если сравнивать вторую и третью станции «Чандраяан», то заметно, что идеологически они очень близки. Основные отличия состоят в составе научных приборов и распределении массы станций.

Их начальные массы примерно равны: 3850 кг у «Чандраяана-2» и 3895 кг у «Чандраяана-3». Станции состоят из перелетного модуля, который после выхода на орбиту Луны становится орбитальным аппаратом, и посадочного аппарата (лендера), имеющего собственное имя – «Викрам» (Vikram, «доблесть», а также имя индийского пионера космонавтики Викрама Сарабхайя, первого председателя ISRO).

Масса посадочного аппарата заметно возросла: с 1471 кг («Чандраяан-2») до 1387 кг («Чандраяан-3»).

Первоначальное время старта передвинули на четыре секунды, так как незадолго до него выяснилось, что траектория выведения проходит на дальности менее одного километра до неназванного спутника.

¹ См. *Ананьева В.И.* Второй «Лунный корабль» продолжает полет // *Земля и Вселенная.* № 6. 2020. С. 60–63

до 1750 кг («Чандраяан-3»). Для компенсации пришлось снять с перелетного модуля практически всю полезную нагрузку. Если на «Чандраяане-2» было восемь научных приборов: камеры, радары, спектрометры, масс-спектрометр, то на орбитальном модуле «Чандраяана-3» установили всего один инфракрасный спектрополяриметр SHAPE для поиска жизни на Земле (диапазон 1–1.7 мкм). Несмотря на неожиданные для лунного аппарата цели эксперимента, он важен для поиска экзопланет. Это решение можно понять – научные приборы уже работают на орбите Луны и можно было их не дублировать.

Научную нагрузку посадочного аппарата «Викрам» оставили практически без изменений. В нее вошли:

- RAMBHA-LP – зонд Ленгмюра для определения параметров околослунной плазмы,
- ChaSTE (Chandra's Surface Thermophysical Experiment, околосповерхностный теплофизический эксперимент) – для определения тепловой инерции грунта в зависимости от глубины,
- ILSA (Instrument for Lunar Seismic Activity, инструмент для анализа сейсмической активности Луны) – для измерения сейсмичности в районе посад-

ки и определения границ лунной коры и мантии,

- небольшой луноход «Прагьян» (Pragyan, «мудрость»). На луноходе были установлены два спектрометра: APXS (Alpha Particle X-Ray, рентгеновский спектрометр альфа-лучей) и LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy, лазерно-искровой эмиссионный спектрометр). Первый более универсален, второй «заточен» на более точное определение содержания в лунной породе магния, алюминия, кремния, калия, кальция, титана и железа.

Новую станцию оценили в 6 млрд индийских рупий, другими словами, 6 млрд рублей или 73 млн долларов.

Схема перелета станции до Луны также была аналогична предыдущей лунной индийской миссии. С высокоэллиптической орбиты на траекторию перелета к Луне станция выходила самостоятельно, при помощи перелетного модуля, путем нескольких коррекций. Этот же модуль 5 августа перевел станцию на орбиту спутника Луны и провел последующие коррекции. После снижения до 25 км в перигентре от станции был отделен посадочный модуль. 23 августа ему была передана команда на снижение. Перед спуском он установил связь не только со своим перелетным модулем, но и «Чандраяаном-2», оба эти аппарата обеспечивали ретрансляцию сигнала.

Происходившее между включением двигателя на торможение и посадкой в индийской прессе назвали «15 минутами ужаса». Вслед за ужасом пришел восторг, когда трансляция показала, что «Викрам» успешно сел на Луну!



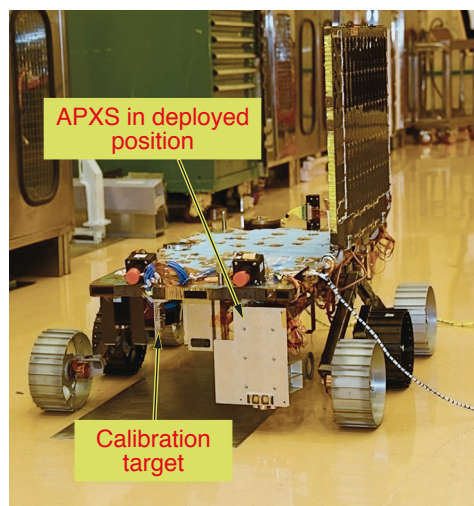
Аппарат «Чандраяан-3».
Фотография ISRO

Вот как описывали этот момент в индийской прессе: «Когда посадочный модуль без ошибок начал последний вертикальный спуск, аплодисменты стали громче, но несколько ученых, в том числе председатель ISRO Шри Соманатх (Shri S. Somanath), выглядели напряженными. Именно на этом этапе начались проблемы 16 сентября 2019 года, когда посадочный модуль “Чандраяана-2” потерпел крушение. За последние четыре года они приложили все усилия, чтобы сделать этот модуль настоящим “Бахубали” (мифологический персонаж), способным выдержать все потрясения во время его последнего путешествия на Луну. Они укрепили четыре опоры посадочного модуля, провели много тестов в различных погодных и климатических условиях, в том числе сбрасывая его с вертолета, чтобы сделать его небьющимся».

Посадка станции на Луну стала в Индии национальным событием. Многие школы предприняли специальные меры, чтобы учителя и ученики смогли следить за посадкой станции в реальном времени. И почти сразу же после события 23 августа – день успешной посадки на Луну – стал в Индии национальным Днем космоса.

Район посадки станции был выбран в околополярном районе Луне, на 69 градусах южной широты и 32 градусах восточной долготы. Здесь, согласно данным российского прибора ЛЕНД на лунном спутнике LRO (NASA), можно ожидать наличие водяного льда в подповерхностном слое грунта. К сожалению, специализированных приборов для поиска водяного льда на индийском лендере не было.

Уже 24 августа по аппарелям на Луну съехал «Прагьян», а на станции были успешно включены научные приборы. Сначала луноход ехал в сторону лунного севера, но 27 августа встретил достаточно глубокий кратер, после чего вер-

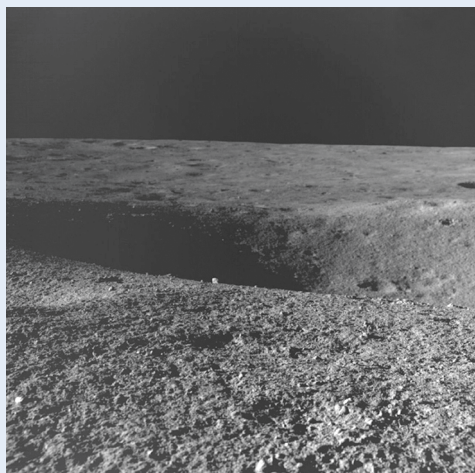


Луноход «Прагьян» миссия «Чандраяан-3». Обозначено положение рентгеновского спектрометра альфа-лучей APXS и калибровочного тела. Фотография ISRO

нулся по своим следам и поехал на восток. Отъехав немного, 30 августа он сделал фотопортрет посадочной станции и продолжил свой путь.

Параллельно начались публикации данных с научных приборов. Если результаты ChaSTE были ожидаемы (хотя отметили, что температура оказалась выше расчетной), то данные по анализу грунта стали сенсацией, вызвав споры, не являются ли они ошибкой эксперимента. 30 августа ISRO опубликовала данные спектрометра LIBS, по которым выходило, что в грунте Луны неожиданно много серы. И не просто много – сера оказалась одним из основных элементов лунного реголита, по концентрации больше нее было только алюминия. Таких результатов не было в предыдущих лунных образцах. Данные с другого спектрометра APXS подтвердили этот результат, но вопрос о том, какой минерал содержит столько серы, остался открытым.

К 3 сентября луноход объехал достаточно глубокий кратер, и было решено



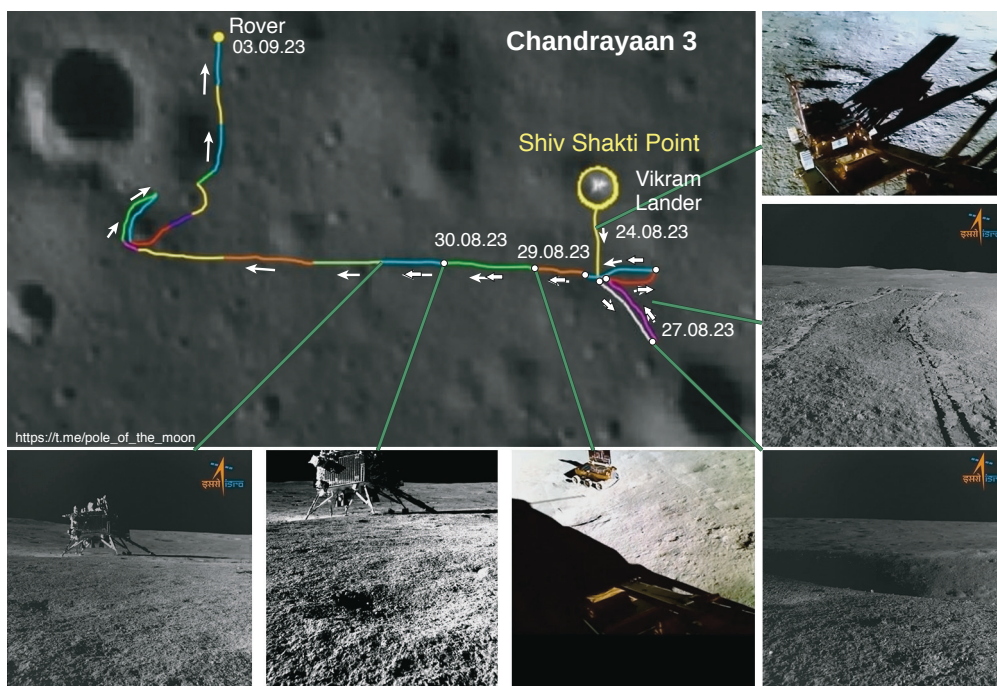
Кратер на пути лунохода «Прагьян».
Фотография сделана 27 августа 2023 г.
навигационной камерой лунохода.
Фотография ISRO



Следы лунохода «Прагьян». 27 августа
луноход остановился перед глубоким
кратером, развернулся и вернулся обратно.
Снимок следа, оставленного на лунном
грунте. Фотография ISRO



Посадочный аппарат «Викрам» миссии «Чандраяан-2»,
снятый с лунохода «Прагьян». 30 августа. Фотография ISRO



Трасса следования лунохода «Прагьян» миссии «Чандраян-3» и фотографии Луны, полученные им по ходу следования, с привязкой к местности. Коллаж автора на основе фотографий, опубликованных ISRO

подготовить его ко «сну». Приближался конец лунного дня, и, хотя ни на посадочном модуле, ни на луноходе не было специализированных систем для сохранения работоспособности лунной ночью (они просто не проектировались для подобной работы), индийские инженеры решили максимизировать шансы на возможность «проснуться» следующим утром. Аккумуляторы были максимально заряжены, а солнечная панель лунохода повернута в ту сторону, где взойдет Солнце.

2 сентября провел последний эксперимент и лэндер «Викрам», хотя он был в большей степени технический, чем научный. В его баках еще оставалось топливо, и было решено вырабатывать его по максимуму. Двигатели вновь включились, запасов хватило на подъем станции на 40 см и перемеще-

ния на 30–40 см. После чего и лэндер перевели в «спящий» режим.

5 сентября в районе посадки зашло Солнце и началась долгая и холодная лунная ночь.

Солнце вновь показалась над лунным горизонтом 20 сентября, но на разогрев станции и зарядку аккумуляторов нужно было время, так что результат ожидался 21 или 22 сентября. К сожалению, чуда не произошло, и восстановить связь не удалось. Попытки связаться с аппаратами предпринимали до 6 октября, а 9 октября ISRO официально сообщило о завершении их работы.

Но для первой успешной индийской лунной миссии результат получился отличным.

По информации, опубликованной ISRO

К СТОЛЕТИЮ ПЛАНЕТАРИЯ: МИССИЯ И ПРОБЛЕМЫ

ЛОБАНОВ Андрей Владимирович,

Ассоциация планетариев и лиц, содействующих их развитию

ЯЗЕВ Сергей Арктурович,

доктор физико-математических наук

Иркутский государственный университет,

Институт солнечно-земной физики СО РАН

DOI: 10.7868/50044394823050067

Сто лет тому назад, в 1922 году, немецкая фирма «Карл Цейсс» представила миру первый аппарат планетарий, демонстрирующий на внутренней поверхности полусферического купола иллюзию звездного неба. В течение века были созданы несколько поколений аппаратов «планетарий», переживших в начале XXI века технологическую революцию. Изменялись, непрерывно расширяясь, функции и опции планетариев. Эволюционировало и само понятие планетария – это не только аппарат, но и учреждение, помещение, вид шоу. Что же такое планетарий, какова его миссия в современной цивилизации, каковы его проблемы?

Планетарии и их задачи. Еще сто лет тому назад, с самого начала появления планетариев, их основная миссия декларировалась их создателями и воспринималась зрителями как содействие астрономическому образованию, а также просвещению.

До появления аппарата «планетарий» не существовало адекватного способа отображения положений небесных светил не небе, исключая звездные глобусы и армиллярные сферы с ограниченным набором функций. Звездные глобусы демонстрируют небо, «вывернутое наизнанку» и наблюдаемое снаружи. На примере армиллярной сферы мы имеем дело с моделью небесной сферы, главным образом демонстрирующей видимое движение Солнца.

Основной функцией планетария изначально было воспроизведение вида звездного неба. Вплоть до последних десятилетий XX века изучение созвездий

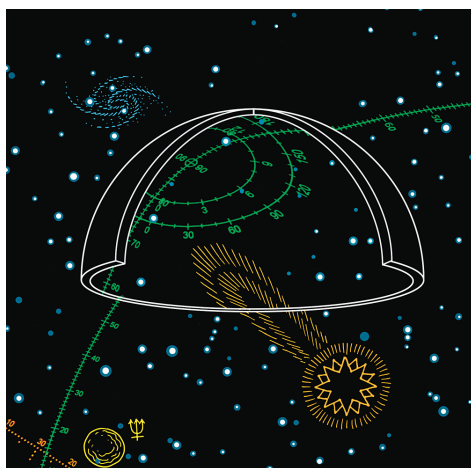
и расположения ярких (в первую очередь навигационных) звезд составляло важную часть изучения астрономии. В учебниках астрономии обязательный раздел был посвящен созвездиям и способам ориентирования по светилам. Для людей, далеких от астрономии, эта наука и по сей день подчас ассоциируется со знанием созвездий и умением опознавать конкретные звезды – люди полагают, что в этом, как и в прошлые века, и заключается существо астрономии. Однако уже к концу XIX века по мере развития новых методов исследований помимо астрометрии стали быстро развиваться другие важные направления астрономии – звездная астрономия, астрофизика с большим количеством подразделов, небесная механика, внегалактическая астрономия, планетология, космогония, космология и т.д. Как ни парадоксально, в ряде современных направле-

ний астрономии знание звездного неба практически не требуется. Есть астрономы, которые знают созвездия «из приличия», а вовсе не потому, что эти знания используются ими в профессиональной деятельности.

Появление планетария повысило наглядность метода небесной сферы: в звездном зале зритель находится под куполом, как под настоящим небом, где легко себя представить в центре небесной сферы. Проекторы, демонстрирующие на куполе круги и особые точки, сделали процесс понимания и освоения метода небесной сферы более наглядным.

Демонстрация звездного неба, созвездий, суточного вращения неба, кругов на небесной сфере (экватор, горизонт, небесный меридиан, эклиптика, альмукантарат, вертикал светила) была и остается основной образовательной задачей планетария, с которой он справляется лучше любых иных методов. Планетарии применяются при подготовке специалистов, которые должны знать звездное небо и уметь ориентироваться по навигационным звездам. Такие знания и навыки входят в перечень компетенций пилотов, штурманов, судоводителей, космонавтов. Доля подобных профессий невелика, но они есть, и планетарии успешно применяются для соответствующей подготовки. Планетарии остаются надежными помощниками школьного учителя, вузовского преподавателя, инструктора.

Планетарии и просвещение. Чем образование отличается от просвещения? Образование требует обязательного изучения и освоения набора знаний и навыков, предусмотренных учебной программой. На просветительский сеанс в планетарии посетители приходят добровольно на основе собственного интереса. Они не обязаны учить и запоминать демонстрируемый мате-



Что такое планетарий?

Рисунок Марины Гусаровой

риал. Если школьников привели в планетарий на программу, не имеющую отношения к учебному плану, у них нет обязанности усваивать новые знания в обязательном порядке – новые знания просто помогут расширить их кругозор.

Просветительская миссия появилась у планетариев сразу. В планетарий люди приходили познакомиться со звездным небом, узнать созвездия и звезды по собственному желанию. Эта функция со временем только усиливалась и расширялась. Лекции на основе слайдов и кинофильмов, дополняемые обязательным показом звездного неба с помощью аппаратов «планетарий» превратились в XX веке в своеобразные шоу для любознательных. Такие просветительские лекции, охватывавшие широчайший набор тем, читались во всех планетариях мира.

Образование и просвещение в современных планетариях. К началу XXI века возможности планетариев существенно изменились (можно говорить о технической революции), и это заметно повлияло на их функции.



Звездный зал планетария Центрального дома Российской армии. Фото Дмитрия Мацнева

Во-первых, модернизировались аппараты «планетарий», что привело к значительному улучшению качества картины звездного неба.

Во-вторых, появились цифровые проекторы, управляемые компьютерами. Ушли в прошлое шкафы с коллекциями слайдов, пришла возможность показывать цифровые изображения и полнокупольные фильмы. Широко применяется специальный формат кадра – «fulldome». Цифровые планетарии позволяют обходиться без аппарата «планетарий», и хотя качество цифровой картины звездного неба пока в целом уступает создаваемой оптико-механическими аппаратами, она обычно воспринимается как вполне приемлемая. Тематика сеансов расширилась, некоторые планетарии вообще не показывают звездное

небо, превратившись в купольные кинотеатры. Этому способствует и разнообразие современного купольного контента. Конечно, доминирует астро-космическая тематика, но купольные фильмы с другим содержанием – детские, анимационные, видовые, игровые, посвященные географии, истории, музыкальные, программы для релаксации, политические, экологические, эротические, арт-проекты – становятся все более разнообразными. Эти программы существенно различаются и по качеству, и по стоимости. Подобные фильмы можно просматривать не только под куполом, но и в шлемах виртуальной реальности. Ряд хорошо оснащенных планетариев самостоятельно создают полнокупольные цифровые фильмы для себя и для продажи (обмена).



Лазерное шоу в планетарии г. Гамбурга, Германия. Фото Андрея Лобанова

Технологии XXI века «трансформировали» и купол планетария. Если раньше он представлял собой уменьшенную модель неба, а демонстрации сводились к воспроизведению астрономических явлений, то теперь купол планетария – это сферическая проекционная поверхность, где можно демонстрировать все, что угодно. Новые возможности, на наш взгляд, создают трудности в осмыслении планетария как культурологического явления. С этим связаны две противоположные по смыслу тенденции, наблюдаемые в планетариях.

С одной стороны, развитие компьютерных технологий генерации видеоэффектов позволяет делать упор на создание впечатляющих цифровых фильмов. Киносеанс без лектора дает возможность экономить на квалифицированных лекторах. Сеансы без лек-

торов стали обычной практикой во многих планетариях мира, в первую очередь в мобильных. Естественное стремление к увеличению прибыли, минимизации затрат или хотя бы обеспечению возможности окупать затраты на содержание толкают многих наших коллег по всему миру на «легкий» путь. Мы с сожалением наблюдаем, как за последние два десятка лет в ряде планетариев исчезли лекторы, здесь перестали показывать звездное небо, прекратили рассказывать о ежедневном положении небесных светил на небе. Классические формы деятельности планетариев исчезают, такие планетарии превратились в кинотеатры. Во многих странах используется новый термин – «Звездный, или купольный театр». Подобная трансформация меняет задачи планетария. Здесь не нужно читать лекции – можно показывать

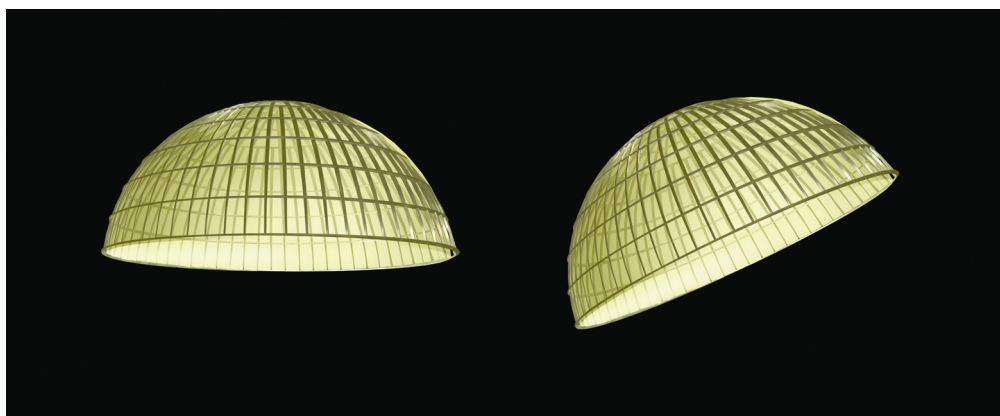


Схема. Купол классического планетария и купол сферического театра

шоу, нет необходимости создавать авторские программы – есть возможность покупать и показывать чужие.

Об этой тревожной тенденции наши коллеги заговорили уже давно. Ветераны отрасли стали бить тревогу. Еще до начала повальной «цифровизации» планетариев в 2008 году Л.А. Паниной была организована известная в России конференция «Школа лекторов планетариев» для противодействия увлечению тотальной автоматизацией отечественных планетариев.

Насколько успешным оказалось это противостояние? На наш взгляд, был достигнут существенный результат. Многие планетарии России, вступив на путь цифровизации, сохранили свой уровень и продолжают развиваться. Важно, что мы можем наглядно показывать, как, с нашей точки зрения, должен работать современный планетарий. Это очень важно, поскольку новая волна астрономических открытий стимулирует развитие отрасли.

Вторая тенденция противоположна вышеуказанной. Наблюдается тренд к перенасыщению восприятия человека цифровыми картинками, которые окружают нас на мониторах все-

возможных гаджетов. Не только «консервативные» работники планетариев, но зачастую и сами зрители высказывают заинтересованность в сохранении классических подходов. Запрос на «живой звук», на возможность послушать «офлайн» компетентного (лучше бы известного) лектора и задать ему вопросы в процессе личного общения становится всё заметнее. В результате многие планетарии возвращаются к практике «живых» лекций, в некоторых такая деятельность никогда не прекращалась.

Всё это привело к разделению планетариев мира по типу деятельности. Планетарии в составе просветительских комплексов практически везде превратились в «Звездные театры». Их большие зрительные залы имеют наклонный купол для удобства просмотра фильмов, здесь почти никогда не показывают звездное небо.

Подавляющее большинство планетариев другого типа расположены в университетах, школах и колледжах. Они имеют небольшие (не наклонные) залы и классическое оборудование. Работниками таких планетариев являются преподаватели, которые используют возможности купола в учебном процессе.

Так создается здоровый баланс. Крупные центры через погружение в космическую среду ярких полнокупольных шоу прививают интерес к астрономии и космосу в целом. Малые планетарии развивают и укрепляют этот интерес у тех, кто решил связать свою деятельность с наукой и высокими технологиями.

Проблемы развития российских планетариев. В нашей стране в год столетия первого аппарата «Карл Цейсс» насчитывается чуть более 50 стационарных планетариев. Для огромной страны это, несомненно, очень мало. Почти в половине регионов России крупных планетариев нет, перспективы туманны, и это одна из главных проблем.

Сама жизнь возлагает на российские планетарии особую миссию. Она связана с разнообразием направлений деятельности. Как правило, планетариям приходится функционировать на стыке трех направлений: культуры, образования и науки. Это непросто, но именно такая задача должна стать, с нашей точки зрения, главным направлением развития отрасли в России.

Можно отметить, что образовательная составляющая в деятельности планетариев в стране постепенно сокращается.

Во-первых, российскому учителю даже в городах с планетариями не просто вывести сюда школьников. Не все школы располагают собственным транспортом, аренда лицензированного для перевозки детей автобуса сопряжена со многими трудностями (автобусов мало, аренда стоит дорого, каждый выезд должен сопровождаться изданием приказа по школе, назначением ответственных за жизнь и безопасность школьников). Тратить немалые усилия

и внеучебное время на поход в планетарий готовы, как правило, только энтузиасты.

Во-вторых, школьный предмет «астрономия» традиционно воспринимался как второстепенный, а теперь он снова исчез из учебных планов российской школы. 12 августа 2022 г. министр просвещения РФ С.С. Кравцов приказом № 732 утвердил изменения в стандарте среднего общего образования. Новым вариантом стандарта школьный предмет «астрономия» не предусмотрен. Введение в действие нового варианта стандарта будет происходить в течение нескольких лет, и это означает, что в ближайшие годы предмет «астрономия» из российской школы снова исчезнет после кратковременного возвращения (2018–2022 гг). В результате полнокупольные лекции и программы в российских планетариях, посвященные различным темам курса астрономии, перестают быть учебными (образовательными), превращаясь в просветительские.

В то же время необходимо отметить, что полнокупольные фильмы, посвященные физике, химии, географии, экологии также существуют и могут использоваться как образовательные программы. Такой опыт есть, но он пока не доминирует в работе отечественных планетариев.

В-третьих, доля образовательных программ в российских планетариях невелика и имеет тенденцию к уменьшению. Если в крупных стационарных планетариях России работают квалифицированные лекторы, то во многих малых (мобильных) планетариях далеко не всегда есть специалисты, способные читать качественные лекции. В итоге здесь проще продемонстрировать фильм, чем что-то рассказывать. При этом качество зарубежных научно-

популярных полнокупольных фильмов нередко оставляет желать лучшего. Встречаются фактические ошибки, сюжет порой содержит искаженную научную информацию.

В нашей стране, как и во всем мире, меняется само понятие «планетарий». Ранее обязательным элементом планетария присутствовал оптико-механический аппарат. Аппараты совершенствовались, но суть их оставалась прежней: как и в 1923 году, основной функцией планетария было максимально реалистичное воспроизведение картины звездного неба. Дополнительные возможности (лекции со слайдами или кинофильмы) решению основной задачи, как минимум, не мешали.

В настоящее время слово «планетарий» относится к самым разнообразным сущностям. Во многих учреждениях с названием «планетарий» отсутствует оптико-механический аппарат «планетарий», и образ звездного неба создается с помощью системы цифровых проекторов либо проектора и вогнутого зеркала. Есть планетарии, где отсутствует линия горизонта на куполе (кресла выстроены амфитеатром, а купол установлен наклонно). Есть планетарии, где звездное небо вообще не показывают, но идет непрерывная (нон-стоп) демонстрация полнокупольных фильмов, не обязательно астрономической направленности – особый тип арт-площадки. В современных планетариях разыгрываются спектакли (игровые и кукольные), проходят музыкальные вечера с живым звуком, во время которых на купольном экране демонстрируются разнообразные (не обязательно астрономические) изображения. Залы планетариев сдаются в аренду для проведения совещаний, конференций, корпоративов и домашних торжеств в экзотической обстановке. Тематика,

репертуар, содержание и тип контента оказывается чрезвычайно разнообразным, а иногда и антинаучным. Известны случаи, когда в планетариях (преимущественно мобильных) работают непрофессионалы, использующие нелегализованный (попросту говоря, ворованный) контент, либо доносящие до зрителей неверную, ложную и мистифицированную информацию, преследуя чисто коммерческие цели, тем самым искажая и компрометируя само понятие планетария.

Если деятельность музеев, кинотеатров, цирков регламентируется федеральным законодательством, то в отечественных законах планетарии не упоминаются. В России не существует определения, что такое планетарий, каким требованиям он должен соответствовать, какое учреждение можно считать планетарием, а какое – нет. Возникают вопросы о регулировании авторских прав, лицензировании и статусе прокатных удостоверений производимого планетариями контента, и ряд сопутствующих проблем.

Уместно ли называть планетарием учреждение, где нет аппарата «планетарий», не читаются лекции по астрономии и демонстрируется неастрономический контент, – либо в таких случаях имеет смысл употребление термина «купольный кинотеатр» и применение соответствующего законодательства? Или же основанием для того, чтобы именоваться планетарием, является обязательное астрономическое содержание его программ (не менее определенного процента от общего времени сеансов)? Такие вопросы становятся актуальными по мере роста разнообразия учреждений, называющих себя планетариями, и консенсуса по поводу возможных ответов на эти вопросы не существует.



*Здание первого цифрового планетария России – Нижегородский планетарий им. Г.М. Гречко.
Фото Ольги Молевой*

Авторы хотят подчеркнуть, что речь не идет о желании загнать деятельность планетариев в жесткие рамки и детально ее зарегулировать. Казалось бы, достаточно было применить существующие законы об образовании, или о музейной деятельности, или законы, регламентирующие работу кинотеатров. Но некоторые особенности деятельности планетариев оказываются не оговоренными в принципе, а упомянутые законы подчас противоречат друг другу. Например, большие сложности возникают при определении статуса и регламентации работы муниципальных школьных планетариев: некоторые типичные для планетариев формы деятельности оказываются недопустимыми с точки зрения законов, определяющих работу образовательных учреждений. Законы же о музеях осложняют деятельность экспозиций в рекреациях планетариев. Это не полный перечень трудностей, возникающих из-за отсутствия закона о планетариях в России.

В решении фундаментальной проблемы легитимации планетариев России нельзя торопиться, поскольку принятый наскоро закон может принести больше вреда, чем отсутствие специального закона. Тем не менее на сегодня в России функционируют тысячи самых разных компаний – государственных и частных, стационарных и мобильных, подчиняющихся разным министерствам и ведомствам (например, министерству культуры, министерству просвещения и министерству обороны, либо зарегистрированным как коммерческие предприятия), – и все они называют себя планетариями. Их деятельность чрезвычайно разнообразна, и в ряде случаев она противоречит изначальным целям, которые ставили перед собой в 1923 году создатели первого планетария.

Вопрос о создании федерального закона о планетариях должен быть поставлен в повестку дня, но очевидно, что это будет не быстрый процесс.

Он потребует многочисленных экспертиз и согласований множеством ведомств.

По-видимому, не менее актуальным является формирование отношения и контроль со стороны гражданского общества, профессионального сообщества «планетарщиков». Речь идет о том, чтобы, как минимум, сами участники деятельности планетариев придерживались неких внутренних правил, которые выработаны за целый век существования планетариев. Так, «настоящий» планетарий не допустит проведения под своим звездным куполом лекций, пропагандирующих астрологию, уфологию или очередной конец света, не пойдет по пути распространения мифов и мистификаций ради коммерческого успеха. Тут чрезвычайно важны профессиональная оценка, отношение экспертов и коллег, и это означает, что формальное либо неформальное деление на «настоящие» и «ненастоящие» планетарии станет неизбежным, если планетарское сообщество всерьез задумается о том, что такое современный планетарий.

Это не означает, что следует закрывать «ненастоящие» планетарии. Речь идет о том, чтобы потенциальный зритель планетария знал бы заранее, в какое учреждение он идет на сеанс – подобно тому, как он должен иметь возможность заранее узнать, добавлено ли пальмовое масло в приобретаемый продукт, или сколько «звезд» присвоено гостинице, куда он собирается поселиться.

На этом пути важную роль в «планетарском» сообществе предстоит сыграть Ассоциации планетариев. Должны существенно расширяться направления ее работы. Нельзя ограничиваться только оказанием методической помощи планетариям. Мы считаем, что

ассоциация должна активно вмешиваться в модернизацию существующих и строительство новых просветительских центров, имеющих в своем составе планетарии.

На начальных этапах важно закладывать правильные векторы в осуществление основной деятельности новых культурно-просветительских учреждений. Для этого у Ассоциации есть богатый опыт и мощный потенциал, основанный на поддержке ведущих просветительских и научных центров страны. Ассоциация планетариев готова оказывать помощь и профессиональную консультативную поддержку на всех этапах проектирования, строительства и оснащения современных планетариев, а также поддерживать учреждение после его открытия, помогая развивать основную деятельность. В этом видится одна из важнейших наших миссий.

Другое важнейшее направление, которое сейчас только начинает формироваться, – это повышение профессионального уровня работников. Не секрет, что сотрудников планетариев никто специально не готовит. Кадры формируются в каждом случае индивидуально и, как правило, спонтанно, их отбор и подготовка обычно ведется достаточно бессистемно, каждый планетарий сам, как может, решает свои кадровые проблемы. В то же время даже самое совершенное оборудование не может эффективно функционировать без грамотных, мотивированных, высокопрофессиональных специалистов. Наша задача – способствовать их подготовке, создавать методические центры на базе ведущих планетариев страны, готовить учебные материалы и пособия, проводить семинары, встречи, школы, конференции и фестивали. Надеемся, что с развитием сети планетариев



Здание Ярославского планетария – Культурно-просветительский центр имени В.В. Терешковой. Фото Александра Чернышова

в России кадры для планетариев начнет готовить какое-то высшее учебное заведение страны, которое при поддержке Ассоциации возьмет на себя эту важную миссию.

Резюмируя, отметим, что добиться серьезного успеха можно лишь введя ряд определенных правил и мер в деятельность отечественных планетариев. Так, деятельность «планетарщиков» может регулироваться в рамках так называемых саморегулирующихся организаций (СРО). Создание такой собственной СРО, где превалируют компетентность, честность, порядочность и открытость, может помочь справиться с некоторыми проблемами, которые предстоит решить планетарскому сообществу в ближайшие годы.

Планетарии уверенно смотрят в будущее, и это будущее практически во

всем зависит от нас самих – от тех, кто любит звездное небо и старается донести свои знания и свою увлеченность до самых широких слоев населения.

Современный планетарий – это уникальный многофункциональный инструмент. Раскрыть его огромный потенциал можно, применяя комплексный подход к его деятельности. Объединение образования, культуры и науки под куполом планетария, с нашей точки зрения, должно стать главным вектором в развитии нашего общества на ближайшие десятилетия. Мы надеемся, что эти проблемы будут решаться, и основная великая миссия планетариев (образование и просвещение) будет успешно реализовываться на протяжении второго века их существования.

«ИЗОБРЕТЕНИЕ СЛАБОЙ РУКИ»

Краткая история планетариев

ФЕСЕНКО Андрей Васильевич

Московский государственный институт культуры

DOI: 10.7868/50044394823050079

Статья посвящена истории происхождения и эволюции аппаратов, называемых «планетарий». Идея воспроизведения движений небесных явлений очень древняя и первые приборы – научные и просто демонстрационные – появились в эпоху Античности. С развитием астрономических знаний, сменой систем мира и мировоззренческих представлений усложнялись и планетарии, и, как следствие, перед ними ставились все более сложные цели и задачи.

АНТИЧНОСТЬ

С давних времен человек пытался создать подобие неба на земле. Своды купольных гробниц во многих регионах древности уподоблялись ночному небу. Например, в Микенах купол Сокровищницы Атрея был украшен позолоченными бронзовыми розетками.

Прообразами планетариев следует, конечно, считать и армиллярные сферы, звездные глобусы, шатры. Например, такой шатер, украшенный изображениями небесных светил, описан древнегреческим драматургом Еврипидом (ок. 480–406 до н.э.) в трагедии «Ион».

Первый механический планетарий, глобус – «сферу», изобрел Архимед Сиракузский (287–212 до н.э.) и посвятил ему одну свою работу. Это изобретение принесло Архимеду славу, которая разнеслась далеко за пределы Греции. Сфера Архимеда была сделана из бронзы, на ней можно было наблюдать движение Солнца, фазы Луны, петлеобразные пути пяти планет, солнечные и лунные затмения. Сфера Архимеда

не сохранилась, но до нас дошло несколько восторженных свидетельств об этом приборе. Так, римский поэт Клавдий Клавдиан (ок. 370 – ок. 404) посвятил сфере-планетарию Архимеда стихотворение, исполненное восхищением, строки которого послужили названием данной статьи:

Когда же в малом стекле,
все небо увидел Юпитер,
Он, рассмеявшись, такие слова
к бессмертным богам обратил:
«Неужто до высей таких продвинулось
смертных старанье?
Уже ли осмеяно в мире непрочном
творенье мое?
Правдив порядок небес,
доверье к делам и законам богов –
Все искусством своим перенял
старик Сиракузский.
Воздух, скрытый внутри,
различные движет светила,
По истинным, верным путям,
сделав движенье живым.
Мнимый спешит зодиак,
ход ежегодный свершая,
Ложный образ Луны ежемесячно
снова родится.

И мир свой уже смелым усердьем вращая,
Радует ум человеков,

звездное небо вновь сотворивший.
Как Салмонею дивиться,
гремевшему громом фальшивым?
Вот соперник Природы – изобретение
слабой руки».

Вскоре после написания этого стихотворения в 410 году готы захватили Рим, и во время разграбления храмов, вероятно, погибла и сфера-планетарий Архимеда.

СРЕДНЕВЕКОВЬЕ

В Средние века не создавались механизмы, подобные сфере Архимеда. Тем не менее астрономия была очень важной и почитаемой наукой. Одним из самых образованных людей своего времени был ученый и папа римский Сильвестр II (ок. 938–1003), носивший до вступления на папский престол имя Герберт Орильякский. Он глубоко изучал астрономию и математику, занимался преподаванием и созданием астрономических приборов. Одним из таких приборов, созданных Гербертом для образовательных целей, была сфера.

РЕНЕССАНС

Эпоха Возрождения, или Ренессанс – грандиозное культурное движение, возрождавшее к новой жизни Античность и открывшее новые горизонты развития культуры Европы. В это время совершались невиданные достижения и открытия в искусстве и науке. В ту эпоху Николай Коперник (1473–1543) обнародовал свою гелиоцентрическую систему мира и вслед за Платоном объявил астрономию «высочайшей из наук». Нет ничего удивительного в том, что в эту эпоху проявился глубокий интерес к механизмам, изображающим

движения небесных светил, к планетариям.

Одним из великих мастеров той поры был Джованни ди Донди (1330–1388), создавший астрономические часы, получившие название астрарий или планетарий. Астрарий Джованни ди Донди показывал движение Солнца, Луны и пяти планет, известных в то время. Это был очень сложный механизм, и Джованни ди Донди работал над ним в течение 16 лет, с 1348 по 1364 год.

История сохранила до наших дней сведения и о том, как описание сферы Архимеда явилось толчком для создания в середине XVI века аналогичного устройства. Речь об «астрономических часах» механика и математика Джаианело делла Торре, или Хуанело Турриано (ок. 1500–1585), который был придворным часовщиком императора Карла V (1500–1558). Историк императора Амбросио де Моралес (1513–1591), друживший с Турриано, рассказывает, что тот решил превзойти Архимеда и создать более совершенную сферу. Моралес сообщает, что Турриано обдумывал свою конструкцию двадцать лет, а на изготовление часов у него ушло три года. Моралес так описывает часы Турриано: «Диаметр часов был почти два фута, они были почти шарообразны, несколько больше в ширину, чем в высоту... Шар был из позолоченной меди с несколькими отверстиями, через которые видно было большинство движений. Игра двух-трех пружин приводила все в движение с различной скоростью: Сатурн, в его 30-летнем движении, одnodневном, Солнце – годичном, Луна в месячном через эклиптику, а также и остальные планеты в своем особом движении... Часы показывали суточное вращение, восемь сфер с их колебаниями, движение семи планет со всем их разнообразием, солнечные часы, лунные часы, появление Знака зверя и многих других больших звезд».

В эпоху Возрождения некие устройства, подобные планетарию, делали Филиппо Брунеллески (1377–1446) и Леонардо да Винчи (1452–1519), причем эти планетарии предназначались для театрализованных постановок.

ОТ ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ К ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

С приходом гелиоцентрической системы Коперника, сменившей геоцентрическую систему мира Аристотеля–Птолемея, перед астрономами встала задача создать механизм, который изображал бы истинное движение планет. Впервые такой планетарий, точнее, теллурий, создал профессор Тюбингенского университета Вильгельм Шиккард (1592–1635). Это была маленькая модель, изображающая схему системы «Солнце–Земля–Луна». Вероятно, пла-

нетарий-теллурий Шиккарда использовался как наглядное пособие в лекциях по астрономии. К сожалению, этот прибор не сохранился. Вслед за Шиккардом планетарии строили Христиан Гюйгенс (1629–1695), Олаф Рёмер (1644–1710), Джордж Грэм (1673–1751), Томас Томпион (1638–1713), Дэвид Риттенхаус (1732–1796), Эйсе Эйсинга (1744–1828).

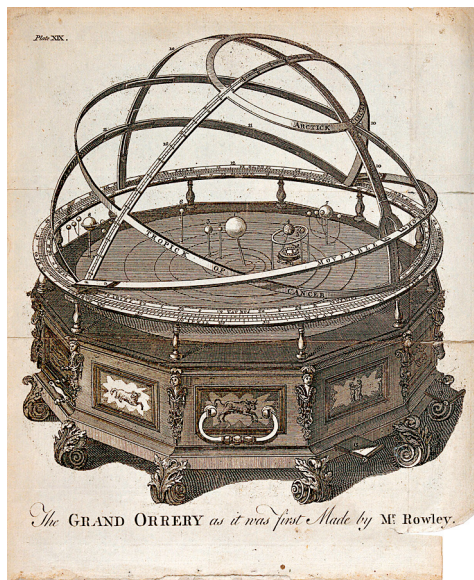
В XVIII веке планетарии были очень распространены, их изображения можно видеть в различных астрономических изданиях той поры. Во многом это было связано с деятельностью четвертого графа Оррери Чарльза Бойла (1674–1731). Бойл был покровителем наук и являлся членом Королевского общества Великобритании. В 1713 году по его инициативе Джон Роули (1668–1728) создал первую механическую модель Солнечной системы, которая демонстрировала движение планет вокруг Солнца в соответствии с их скоростями и периодами.

Проект составил часовых дел мастер Джордж Грэм. Писатель Ричард Стил (1672–1729) в честь графа назвал эту модель «оррери». Оррери стали весьма популярны.

В Америке первый планетарий в 1767 году построил Дэвид Риттенхаус. Он использовал эксцентрические окружности для показа эклиптики и орбит планет. Диаметр всего механизма составлял 1 м 20 см. Этот планетарий показывал планеты до Сатурна и некоторые спутники. В 1771 году Риттенхаус построил второй планетарий, копию первого. В настоящее время оба прибора хранятся в Нью-Джерси.

Самый большой коперниканский планетарий XVIII века, который до сих пор работает, можно увидеть в доме его создателя Эйсе Эйсинги во Франекере (Нидерланды).

Модель, показывающая все планеты до Сатурна, расположена на потолке его дома. Все планеты движутся, при-



Первый планетарий оррери, изготовленный Джоном Роули. Британский музей. Лондон.
Источник: <https://wellcomecollection.org/works/xm44q3ud/items>

чем периоды их обращения соответствуют реальным периодам.

ПЕРВЫЙ ПЛАНЕТАРИЙ В РОССИИ

В России первый планетарий появился в XVIII веке. В 1713 году Петр I (1672–1725) посетил крепость Тепинген в Шлезвиг-Голштинском герцогстве, где ему был продемонстрирован Готторпский глобус.

Этот глобус имел в перечнике около 3.5 м, и представлял собой полый шар. На его наружной поверхности были изображены материки, моря и океаны, а на внутренней стороне – звездное небо с фигурами созвездий обоих полушарий. Звезды количеством 1016 были сделаны из позолоченных гвоздиков различной величины. К глобусу вела небольшая лестница, и через его дверцу внутрь входили люди. В центре шара стоял круглый стол, окруженный скамьями. В аппарате помещались 10–12 человек, которые могли рассматривать движение планет, осуществлявшееся посредством винта Архимеда. Этот планетарий был подарен Петру I и перевезен в Россию, став первым планетарием в нашей стране. В 1747 году во время пожара, случившегося в Кунсткамере, этот плане-



Планетарий Эйсе Эйсинги. Ок. 1780 г. Франекер. Нидерланды.
Источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planetarium_Franeker_%2836%29_%2829621381347%29.jpg



Большой Готторпский (академический) глобус-планетарий.
1753 г. Кунсткамера. Санкт-Петербург. Россия.
Фото автора (декабрь 2005 г.)

тарий погиб. Однако Академией наук было решено восстановить его, точнее, создать новый. Эту работу выполнил

известный русский мастер Филипп Тирютин (1728–1779). В отличие от Готторпского глобуса планетарий Тирютина был доступен каждому желающему. Все иностранцы, посещавшие в XVIII веке Россию, бывая в Петербурге, считали своим долгом осмотреть этот глобус.

XX ВЕК: ОТ МЕХАНИКИ К ОПТИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

XX век стал переломным для планетариев в плане принципа их технического функционирования. От механики конструкторы перешли к оптической проекции и в конце прошлого века наметились пути виртуальных планетариев.

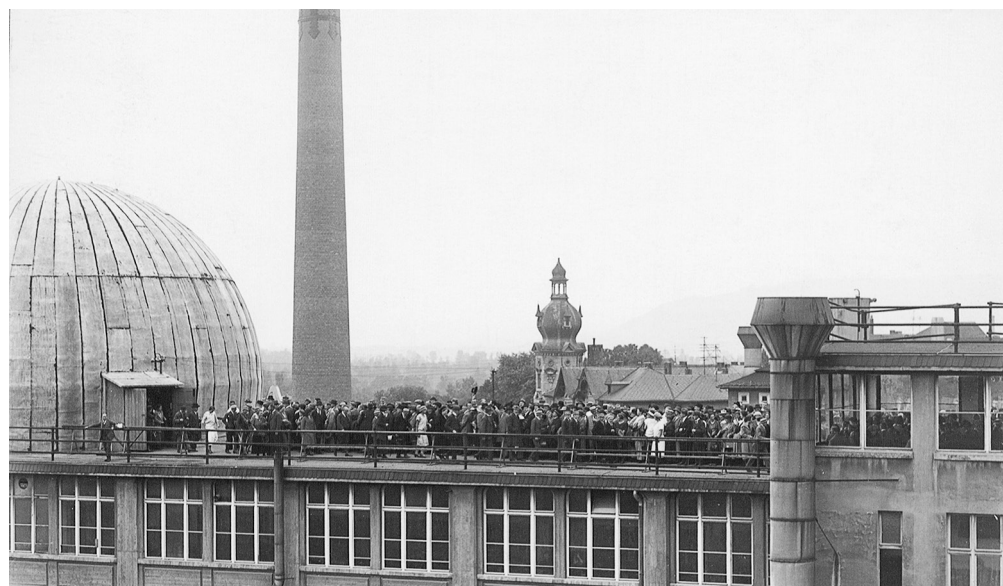
В 1913 году директор Гейдельбергской обсерватории Максимилиан Вольф (1863–1932) предложил основателю Германского музея в Мюнхене доктору Оскару фон Миллеру (1855–1934) изготовить два экспоната, два планетария:

один в соответствии с системой мира Птолемея, а другой в соответствии с системой Коперника. Однако этому предприятению помешала Первая мировая война. После войны задача создания коперниканского планетария была решена на заводе «Карл Цейсс Йена».

Это был самый совершенный механический планетарий и располагался на потолке, подобно механизму Эйсе Эйсинги.

Развитие оптики и электротехники позволило в начале прошлого века подойти к решению еще одной важной задачи – созданию планетария, дающего полную иллюзию звездного неба. Древняя идея создания подобия неба на Земле не исчезла и продолжала занимать умы ученых. Создать иллюзию ночного неба было возможно лишь при одном способе воспроизведения изображения. Такой способ был найден – оптическая проекция. С этого момента начинается новый период в развитии планетариев.

Купол планетария в Йене. 1924 г. Источник: https://www.zeiss.com/content/dam/pla/downloads/JPG/Dome_on_Roof.jpg



21 октября 1923 года на ежегодном собрании германского музея был продемонстрирован первый оптический проекционный планетарий конструкции инженера Вальтера Бауэрсфельда (1879–1959). Над головами присутствующих вспыхнуло звездное небо. Это событие невероятно взволновало общественность. Известный астроном, директор копенгагенской обсерватории профессор Сванте Элис Стрёмгрен (1870–1947) писал: «Никогда раньше не создавали такого наглядного пособия, которое было бы столь поучительным, как это, столь волшебным, одинаково действующим на всех. Это – школа, театр и кино одновременно, школьный класс под небесным сводом и спектакль, в котором актерами являются небесные тела».

После окончательной доводки аппарат Бауэрсфельда был установлен в Германском музее в Мюнхене в 1925 году.

Однако он мог показывать только звезды северного полушария, а для охвата всей небесной сферы требовалось создать новую конструкцию аппарата. В 1925 году был сконструирован, а через год построен новый аппарат – универсальный планетарий. Аппарат мог работать в зале от 18 до 30 м в диаметре. Оптимальный диаметр купола – 23 м. В СССР первый планетарий был установлен в Москве под заводским номером 13 в 1929 году.

Начиная с 1970-х годов планетарии выпускались с автоматическим управлением при помощи ЭВМ, а с

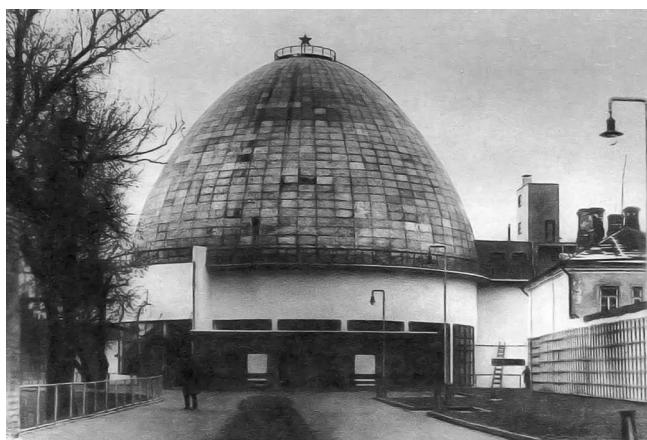


Первый оптический планетарий производства фирмы «Цейсс». 1925 г. Германский музей. Мюнхен. Источник: https://www.zeiss.com/content/dam/pla/downloads/IPG/Model_1.jpg

1985 года велись разработки еще более совершенного аппарата «Universarium», первая модель которого была установлена в г. Хельсинки, Финляндия, а последняя модель запущена в 1999 году. Этот аппарат, с использованием волоконной оптики, создает наиболее правдоподобную картину ночного неба.

Появление оптических планетариев вызвало широкий интерес у архитекторов. Необычность тематики, содержания лекций и представлений под куполом искусственного небосвода неизбежно приводила к появлению особого направления в архитектуре.

В 1920–1930-х годах были построены первые современные звездные театры Германии, США, Италии, Японии и СССР. В целом архитектура планетариев не отличалась ярко выраженным разнообразием. Внешний купол был представлен классической полусферой. Первыми отошли от такого стандарта молодые советские архитекторы М.О. Барщ (1904–1976) и М.И. Сияновский (1895–1979), авторы проекта Московского планетария, выполнен-



Московский планетарий. Купол по проекту М.О. Барца.
Источник: архив автора. Почтовая карточка. ГОЗНАК. 1930 г.

ного в модном тогда направлении конструктивизма.

Архитекторы выполнили купол в форме параболоида вращения, обратившись к традициям эпохи Возрождения, к куполу собора Санта-Мария-дель-Фьоре (Флоренция), созданному гениальным Филиппо Брунеллески.

При планетариях стали создаваться научные сообщества астрономов, географов, геологов и других подобных специалистов. Появились группы и кружки любознательных детей и подростков, которые создали благодатную почву для развития на базе планетариев образовательных комплексов, расширяя горизонты педагогической культуры.

ВТОРАЯ ПОЛОВИНА XX ВЕКА: ПЛАНЕТАРИИ – МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ

Во второй половине XX века в работе планетариев послевоенного периода появились мероприятия развлекательного и игрового характера. При этом игровые, зрелищные и развлека-

тельные методы сочетались с распространением знаний и обучением. Появился особый вектор просветительской деятельности, провозглашаемый девизом: «развлекая – обучать». В результате в 60–80-х годах XX века появилось новое поколение планетариев, которые становились многофункциональными культурными центрами.

Сегодня с развитием цифровых проекционных технологий планетарии стали центрами совершен-

но новых форм работы. В частности, это относится к кинематографу. Сферическое кино в настоящее время выделяется в особое направление, и в планетариях проходят показы игровых, документальных, образовательных, анимационных полнокупольных фильмов, организуются международные фестивали полнокупольного кинематографа. В России такие фестивали стали традиционными в Ярославском, Новосибирском, Калужском планетариях.

МОБИЛЬНЫЕ ПЛАНЕТАРИИ

В некоторых странах получили распространение мобильные планетарии для малых городов, сельской и труднодоступной местности, способствуя распространению знаний о Вселенной.

В СССР впервые передвижные планетарии были сконструированы в 1939 году механиками Н.В. Линицким, С.С. Дергачевым и лектором Московского планетария В.А. Жекулиным (1902–1943). Во время Великой Отечественной войны в некоторых госпиталях проводились лекции с использованием передвижного планетария. В особой ком-

нате демонстрировали звездное небо при его помощи. Планетарии Линицкого, Дергачева и Жекулина с большой точностью воспроизводили на небольшом полотняном куполе звездное небо. Особые небольшие моторчики давали возможность вращать аппарат и таким образом показывать светила на небе в движении. Под куполом такого передвижного планетария могли разместиться до 50 человек.

Тесная связь мобильных планетариев со школами открывает широкие возможности для подготовки будущих архитекторов планетариев, сценаристов, режиссеров, программистов, которые будут создавать полнокупольные фильмы.

Сегодня имеется мощный потенциал, чтобы планетарии, большие и малые, стационарные и мобильные, стали настоящими кузницами воспитания будущих профессионалов в об-

ласти, которую можно было бы называть «планетариадой» – термином, отсылающим наших современников к далеким античным истокам зарождения искусства создания планетариев.

Литература

1. Анисимов А.В. Архитектура планетариев: История. Архитектура. Реконструкции. Зарубежный опыт. М.: Доброе слово, 2008.
2. Житомирский С.В. «Небесный глобус» Архимеда // Историко-астрономические исследования. Вып. XIV. М.: Наука, 1978. С. 271–301.
3. Порцевский К.А. Московскому планетарию 60 лет // Астрономический календарь на 1989 год. М.: Наука, 1988. С. 227–243.
4. Рублева Ф.Б. Московский звездный дом. М.: Планета, 2018.
5. Сурдин В.Г. Планетарий на грани веков // Природа. 2000. № 12. С. 44–51.
6. Ченакал В. Русские приборостроители первой половины XVIII века. Л.: Лениздат, 1953.
7. Hagar C. Planetarium. Window to the Universe. Carl Zeiss, Oberkochen, 1980.



издательство

НАУКА
— 1727 —

**ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ
ПЕРЕПЛЕТ**

Рисунок на коже
Все виды тиснения
Кожанный переплет
Рельефное тиснение
Клише любой сложности
Полноцветная роспись обзоров

А также адресные папки, дипломы, футляры

Беремся за работы любой сложности!
По всем интересующим вопросам пишите на почту isinityn@tnauka.ru

реклама

ЭВОЛЮЦИЯ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОЕКТОРА ЗА 100 ЛЕТ

ЛОБАНОВ Андрей Владимирович,

Ассоциация планетариев и лиц, содействующих их развитию

DOI: 10.7868/50044394823050080

В начале статьи необходимо читателю дать предупреждение. Данный текст не претендует на всеобъемлющее исследование или энциклопедию по проекторам. Приведенные здесь материалы в основном получены не путем исторических и научных изысканий: практически все изложенное собиралось автором на протяжении более 30 лет работы в отрасли, воплощение личного опыта, а также опыта коллег по данному сообществу. Автор благодарен всем, кто делился своими знаниями, материалами и опытом.

Первый в мире оптико-механический проектор Model I – аппарат «планетарий». Изготовлен компанией «Карл Цейсс» (Германия) в 1923 г.

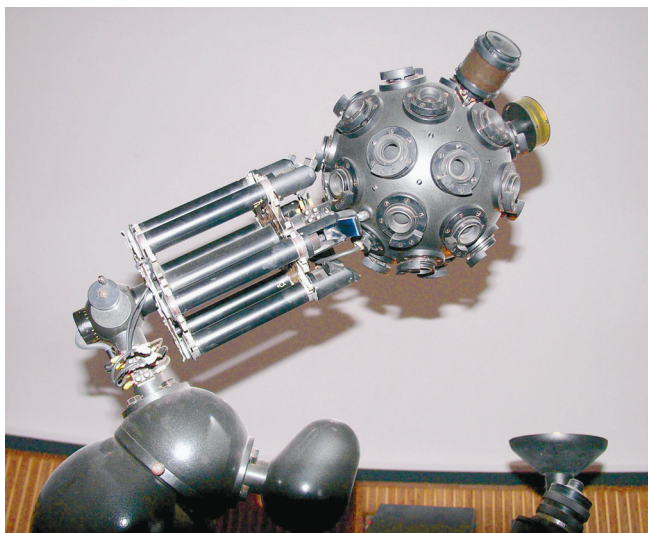


Читателю уже известно, что история оптико-механических проекторов – аппаратов «планетарий» – началась в 1923 г., когда была создана в Йене (Германия) первая модель этого прибора – Model I. Устройство содержало ряд революционных изобретений того времени. Однако Model I имела существенное ограничение – этот проектор демонстрировал, как выглядит звездное небо лишь на одной широте – широте Мюнхена. Это обстоятельство делало невозможным использование аппарата по всему миру. Чтобы распространять проектор, необходимо было сделать его универсальным. И эту задачу блестяще решил немецкий инженер Вальтер Бауэрсфельд. Он разделил звездный проектор на два полушария, а между ними расположил центральный блок с моторами и редукторами и блоки планетных проекторов, Солнца и Луны. Этот проектор получил третью ось вращения и стал похожим на гантель. Если первый планетарий мог воспроизводить только суточное и годовое движение неба, то новая модель могла демонстрировать и перемещение наблюдателя по широте. Достигалась возможность демонстрировать суточное вращение небесного свода при наблюдении из любой точки земного шара.

У нового проектора Model II существенно выросли функциональные возможности, а с увеличением мощности ламп проектор можно было

использовать под куполами размером до 23 м. Так появился классический «форм-фактор» аппарата «планетарий», имеющий вид гантели, символизовавшей планетарий на протяжении многих десятилетий. С этого момента началось производство аппаратов «планетарий». Многие города Германии и зарубежных стран хотели установить у себя «Чудо из Йены», т.к. их изготавливала компания «Карл Цейсс» в Йене. К 1930 г., помимо Йены, аппарат «планетарий» Model II был установлен еще в 13 городах. Это были Вупперталь, Лейпциг, Дюссельдорф, Дрезден, Берлин, Манхейм, Нюрнберг, Вена, Рим, Ганновер, Штутгарт, Гамбург, Милан, Москва и Чикаго. Москва стала четвертой столицей в мире, где 5 ноября 1929 г. распахнул свои двери планетарий с самым большим куполом (25 м) в Европе¹. Московский аппарат «планетарий» Model II имел номер 13. Этот проектор успешно работал вплоть до 1975 г. и сейчас частично представлен в музее Московского планетария.

Чрезвычайная популярность оптико-механических проекторов для планетария определила их дальнейшее развитие. Планетарии оказались востребованными в различных сферах. Они понадобились летчикам и морякам как гражданским, так и военным. Университеты хотели иметь планетарии для своих студентов. Планетарий Model II был совершенным для своего времени прибором, но он был очень дорогостоящим и требовал очень дли-



Аппарат «планетарий» ZKP-1, 1941 г.

тельного процесса изготовления. Мощности компании «Карл Цейсс» не могли оперативно удовлетворять все многочисленные запросы. Встал вопрос о более простом, технологичном и бюджетном варианте планетария.

В 1941 г. в Германии была представлена модель ZKP-1. Этот аппарат стал самым массовым среди моделей планетариев «Карл Цейсс» и заслуженно вошел в историю как самый надежный. Несмотря на это важное преимущество, его конструкция обладала несколькими ограниченными возможностями: проектор имел только один звездный шар и поэтому мог демонстрировать вид звездного неба только в диапазоне широт от северного полюса до экватора. Аппарат был снабжен только одним электромотором, который обеспечивал демонстрацию суточного движения небосвода, поэтому широтное движение управлялось с помощью ручного привода. Что касается годичного движения, то есть движения Солнца, Луны и пяти планет Солнечной системы, то оно в этой модели отсутствовало. Корректное положение этих

¹ Левитан Е.П. Московскому планетарию – 75 лет // Земля и Вселенная. 2005. № 2.

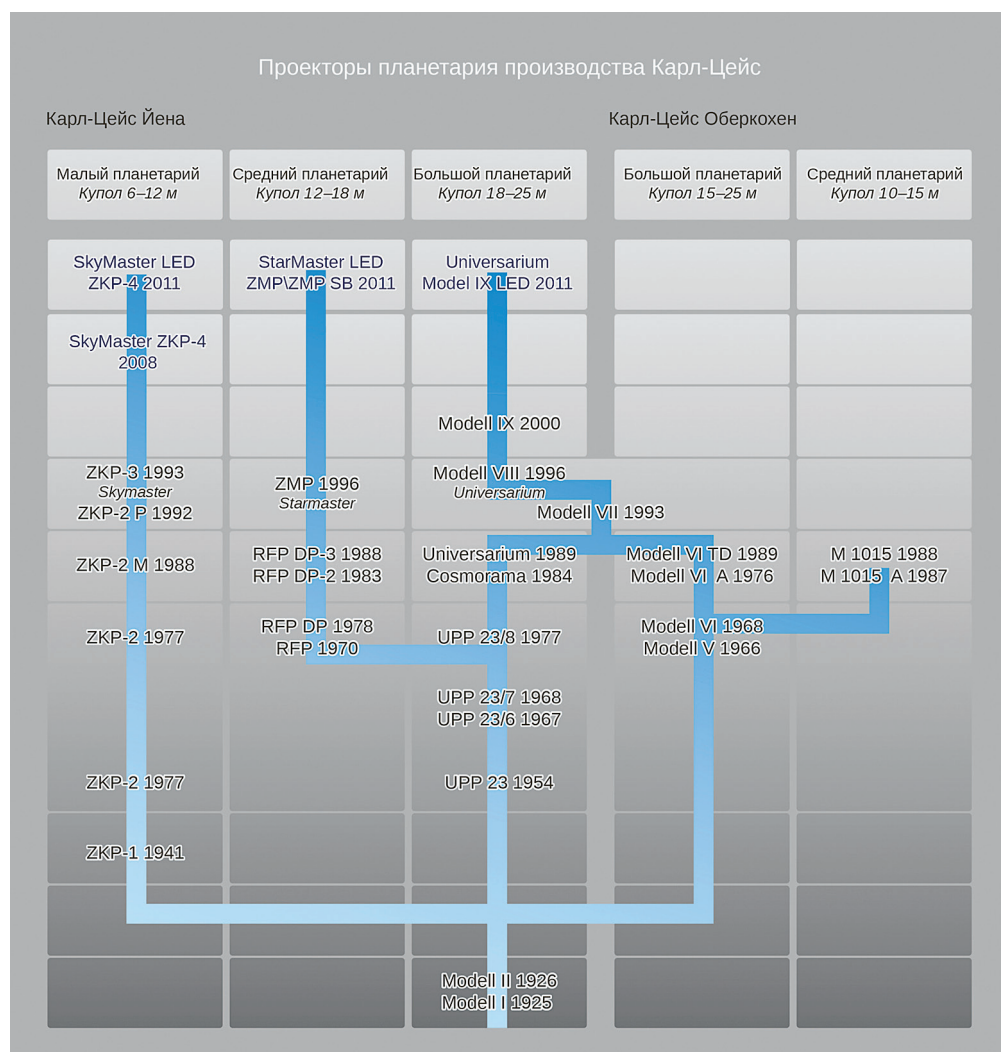


Схема развития оптико-механических планетариев компании «Карл Цейсс».
Реконструкция плаката из Музея оптики в Йене (Германия)

светил на куполе планетария каждый день выставлялось вручную сотрудниками планетария. Эти радикальные меры привели к существенному сокращению сроков производства и значительному снижению стоимости. Аппарат «планетарий» ZKP-1 стал выпускаться десятками начиная с 1941 г. и выпускался даже во время войны.

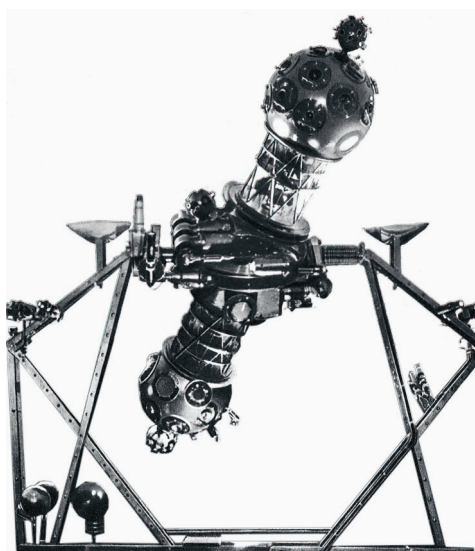
Дальнейшему развитию планетариев помешала Вторая мировая вой-

на. Оптические производства Германии сильно пострадали – в основном от массированных бомбардировок союзных войск США и Великобритании. Так, предприятия «Карл Цейсс» в Йене были в значительной степени разрушены бомбежками, а сохранившееся оборудование впоследствии вывезли союзники вместе с большим количеством специалистов в местечко Оберкохен на территории Западной

Германии. Так в истории производства аппаратов «планетарий», как и во многих аспектах общественно-политической жизни Германии, начался период раскола и противостояния. Теперь планетарии в Германии производились на двух предприятиях, расположенных – в Восточной и Западной Германии. Наш обзор в основном затронет планетарии, производившиеся на Народном предприятии «Карл Цейсс Йена» в ГДР – стране, входившей в Варшавский блок, созданный Советским Союзом после войны как экономический и военно-политический противовес блоку западных стран.

Оборудование для планетариев поставлялось в СССР через единую организацию «Внешторгимпорт» и далее распределялось в соответствии с плановыми экономическими показателями. Количество планетариев в нашей стране ежегодно увеличивалось примерно на десяток в год. Кроме этого, часть оборудования попала в нашу страну по репарации, когда оборудование вывозилось из Германии в качестве компенсации за ущерб, нанесенный СССР фашистским режимом. Так, в 1960 г. проектором ZKP-1 оснастили планетарий Новороссийска, в 1954 г. открылся планетарий в Сталинграде (ныне Волгоград)². Это величественное сооружение оснастили новым большим оптико-механическим проектором Model III (UPP 23) – самым совершенным на тот момент прибором.

Здесь следует сделать важное отступление и упомянуть о размере купола планетария. Первый проектор Model I был рассчитан на работу с куполом-экраном диаметром 16 м. Аппарат Model II был установлен в планетарии города Йена под куполом диаметром 23 м. Малый планетарий ZKP-1



Аппарат «планетарий» UPP 23, изготовленный на народном предприятии «Карл Цейсс Йена» (ГДР), 1954 г.

мог нормально функционировать в куполе диаметром от 6 до 12 м. Так со временем сложился стандарт, зависящий от размера купола, так и соответствующей модели аппарата «планетарий». Чем больше купол-экран, тем более мощными должны быть источники света. Оптическая схема каждого проекционного прибора конструировалась в соответствии с размером проекционной поверхности. В течении XX в. определилась четкая система деления всех планетариев на типоразмеры: малые, средние и большие. В первую очередь этот фактор влиял на вместимость звездного зала планетария и на его демонстрационные возможности. Чем больше купол, тем более величественной представляется зрителю воспроизводимая картина искусственного звездного неба, тем сильнее действует иммерсивный эффект – следствие погружения или присутствия в происходящем на куполе действии, почувствовать себя участником представляемого события. Зал под большим куполом

² Фролов В.И. Волгоградский планетарий // Земля и Вселенная. 2011. № 5.



Аппарат планетарий УП-2. Автор проекта музейного варианта планетария Б.Д. Савченко (г. Лыткарино), 1998 г. Изготовитель – фирма «Музеум-дизайн» (Москва). Аппарат демонстрирует созвездия северного и южного полушарий, имеет проекторы (узлы) для демонстрации Луны, Солнца, эклиптики, зари. Диаметр сферы 50 см

вмещал более 400 зрителей, что делало просвещение поистине массовым и максимально эффективным. Однако такие планетарии имели существенный минус – они были чрезвычайно дороги. Не только оборудование имело высокую стоимость, но и само здание, способное вместить купол-экран диаметром более 20 м, требовало огромных вложений. Именно по этой причине в нашей стране в советский период были построены всего четыре планетария с куполом более 20 м: в Москве, Волгограде, Ленинграде и Киеве. Да и во всем мире доля крупных планетариев невелика. Как правило, такие

планетарии могли позволить себе столицы государств, крупные промышленные и научные центры. При этом великолепный образовательный и просветительский эффект от деятельности планетариев требовал его массового распространения. Запуск Советским Союзом 4 октября 1957 г. первого искусственного спутника Земли, открывшего космическую эру для всего человечества, стал величайшим импульсом для развития сети планетариев по всему миру.

В нашей стране бум постройки планетариев начался гораздо раньше, с конца 1940-х гг. Это удивительно! Половина страны лежала в руинах, но начиная с 1948 г. в СССР стабильно открывалось по несколько планетариев в год. В такой ситуации закупок и поставок трофейной техники уже не хватало. Серия отечественных аппаратов «планетарий» изготавливалась в экспериментально-механических мастерских Всесоюзного общества «Знание» при Московском планетарии. Пришлось даже разработать серию «упрощенных планетариев» УП-1, УП-2, УП-3 и УП-4. Всего было выпущено и установлено порядка 50 аппаратов различных моделей, из сохранившихся стоит упомянуть Лыткаринский планетарий, который выставил свой проектор в музейной экспозиции. В учебном планетарии с 4-метровым матерчатым куполом в педагогическом институте Иркутского государственного университета аппарат УП-4, изготовленный в 1963 г., работает до сих пор. Еще один действующий аппарат УП-4 исправно работает больше 60 лет во Владимире. Он представляет собой две полусферы (северное и южное полушария неба), изготовленные из папье-маше, с нанесенными на них многочисленными отверстиями. В центре каждой полусферы – точечная электрическая лампа. Пучки света, проходящие через

отверстия, воспроизводят изображения звезд в соответствии с картиной созвездий на естественном звездном небе.

На взгляд автора, УП-4 – самый совершенный неоптический планетарий в мире. Не оптическим его называют потому, что свет от лампы свободно проходит через отверстия в звездных полушариях, без каких либо линз и объективов. Это гениальное по простоте решение работает очень хорошо. На куполе Владимирского планетария диаметром 8 м создается вполне качественная картина звездного неба, не сильно уступающая по угловому размеру звезд немецким оптическим планетариям. Аппарат УП-4 может показывать суточное движение звезд, а годичное движение Солнца по эклиптике демонстрируется с помощью специального механизма. Такой планетарий позволяет воспроизводить вид звездного неба при наблюдении из любой точки земного шара и следить за изменением вида звездного неба при движении наблюдателя по широте.

По мнению автора, деятельность широкой сети планетариев СССР стала одной из причин, по которой наша страна смогла опередить США в космической гонке в начале космической эры и стать великой космической державой.

Но вернемся к истории развития классического планетария. Теперь мы знаем о четкой классификации по размерам купола-экрана. Следствием этого стало создание целых линеек



Аппарат «планетарий» (модель УП-4) изготовлен в экспериментально-механических мастерских Всесоюзного общества «Знание» в Москве. Работает с 1962 г.

оптико-механических проекторов. Аппарат «планетарий» ZKP-1 стал самым распространенным проектором в СССР. Его простота, надежность и невысокая стоимость делала эту модель очень привлекательной. Даже архивы компании «Карл Цейсс» в Германии не дают точных сведений о количестве приборов, поставленных из ГДР в СССР. Можно предполагать, что их число приближалось к сотне³. Но этот проектор предъявлял высокие требования к персоналу планетария. Для его правильной работы требовалось каждый день

³ Белов В.В. Планетарии России // Земля и Вселенная. 2011. № 1.

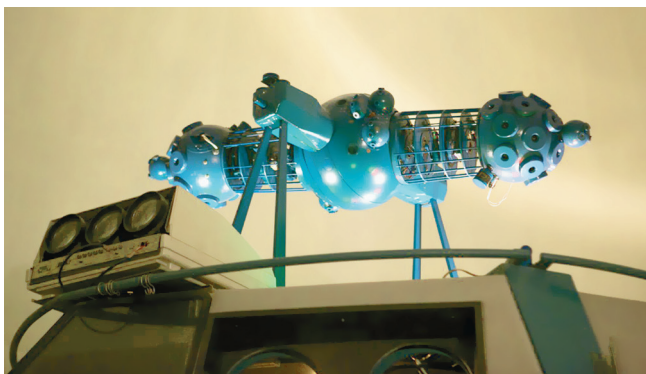


Аппараты «планетарий» ZKP-2 (а)
и SkyMaster ZKP-3 (б), выпускаемые с 1977 г.
и 1993 г. соответственно

выставлять положение Солнца, Луны и планет, используя их эфемериды, взятые из астрономического календаря или астрономического ежегодника. Пульт управления планетарием находился непосредственно на самом приборе, и лектор во время сеанса должен был находиться в центре звездного зала, в окружении зрителей. Таким образом, инновационные интерактивные сеансы в планетариях появились не сейчас, а в далекой уже середине XX в. Общение лектора и зрителя создавало особую камерную атмосферу в планетарии, что, безусловно, способствовало наиболее качественному усвоению сложного материала школьниками и студентами.

В дальнейшем важные изменения в развитии проекционных технологий в планетариях произошли в конце 1970-х гг. Планетарии, постепенно отказываясь от простейшей электротехники и механики, стали переходить на полупроводниковые системы управления. В шкафах управления заняли место шаговые реле и платы с транзисторами. В работе планетария появилось новое понятие – программа, или автоматизированная лекция, где все демонстрации происходили по заранее подготовленному сценарию, а голос лектора заменялся записанной фонограммой.

Пионером нового поколения проекторов стала модель планетария ZKP-2. Его конструкция, в отличие от ZKP-1, повторяла классическую схему «гантели», свойственную ранее только большим звездным проекторам. Имелась возможность показать звездное небо на любой широте, включая южный полюс Земли. Из-за малых размеров его конструкция напоминала механизм часов. Прибор оказался непростым в обслуживании и его оснастили не слишком надежной системой управления. Но главным недостатком модели, который отмечали большинство зрителей,



Аппарат «планетарий», модель RFP в составе космического тренажера ЦПК им. Ю.А. Гагарина. Работает с 1979 г.

оказалась невысокая яркость проекции звездного неба. Тем не менее аппарат ZKP-2 получил широкое распространение по всему миру, в том числе и в Советском Союзе, где он был представлен довольно широко. Эти проекторы в руках умелых инженеров работают до сих пор в некоторых планетариях России.

Завершилась линейка малых классических планетариев моделью ZKP-3. Внешне он мало отличался от своего предшественника, но он имел ряд существенных преимуществ. Во-первых, за счет применения галогенных ламп была существенно повышена яркость проекции звездного неба. Во-вторых, аппарат «планетарий» впервые получил компьютерное управление. Немецкие инженеры создали аппаратно-программную среду SkyPost, т.к. раньше не было программной среды для управления планетарием. В поздних модификациях она используется до сих пор. Модель получила название «SkyMaster», став символом совершенных проекторов для малых куполов. В нашей стране аппарат представлен в единственном экземпляре в городском планетарии Уфы в Башкирии.

В 1970-е гг. появляется модель для средних планетариев, на самом деле самого малочисленного класса проек-

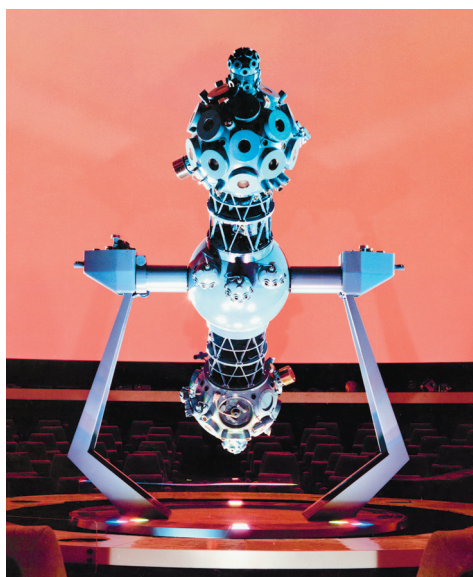
торов. В случае с планетариями принцип «золотой середины» не сработал, скорее, наоборот. По стоимости проекты средних планетариев во много раз превышали затраты на малые серии. В то же время вместимость зала с диаметром 18 м значительно меньше, чем в 23-метровом зале большого планетария. В 1970–1988 гг. выпускалась модель среднего оптико-механического проектора RFP, имевшая

несколько модернизаций, в основном касавшиеся системы управления, которая постоянно совершенствовалась. В России прибор существует в единственном экземпляре в планетарии Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина в подмосковном Звездном городке.

Модельный ряд проекторов 1970-х гг. венчается моделью большого планетария четвертого поколения. Аппарат модели U PP23/8 был специально

Аппарат «планетарий» модели UPP23/8 № 313, созданный в 1977 г.





Аппарат «планетарий» пятого поколения COSMORAMA выпускался компанией «Карл Цейсс» начиная с 1984 г.

разработан, изготовлен и установлен в звездном зале Московского планетария в 1977 г., проработав до 1994 г. Этот прибор имел автоматическое управление, что в то время было нехарактерно для больших планетариев. Автор допускает, что именно проектор № 313 впервые в мире получил систему электронного управления, что дало возможность лекторам первого в стране планетария создавать прекрасные автоматические программы. Также было учтено, что купол Московского планетария был самым большим в Европе – 25 м в диаметре. Чтобы повысить яркость звезд на огромном куполе-экране, площадью почти 1000 м², применялись проекционные лампы повышенной мощности: в каждом звездном полушарии аппарата была установлена лампа по 1500 Вт! Еще одним новшеством стало появление пятой оси вращения прибора. До этого момента большие планетарии имели четыре типа дви-

жения: суточное, годичное, широтное и прецессионное. В этой модели добавилось еще одно (не астрономическое) движение: вращение вокруг вертикальной оси, что давало возможность имитировать во время сеансов полет космического корабля вокруг Земли. Работоспособность аппарата поддерживалась силами коллектива технического отдела, много лет его возглавлял замечательный человек и прекрасный специалист Игорь Васильевич Осокин. Под его руководством в 1990 г. планетарий получил принципиально новую систему управления, ядром которой стал персональный компьютер БК0010, детище советской электронной промышленности. Сейчас этот проектор представлен в музее «Урания» – в классической экспозиции столичного планетария.

Линейка больших классических планетариев завершилась моделью пятого поколения COSMORAMA, созданный в 1984 г. Этот аппарат «планетарий» вообрал в себя весь опыт компании «Карл Цейсс» накопленный за 60 лет. Представить себе более совершенный прибор на тот момент было невозможно. Для дальнейшего развития техники планетариев потребовались необходимые радикальные изменения концепции проектирования. И такие преобразования произошли в самом конце XX в.

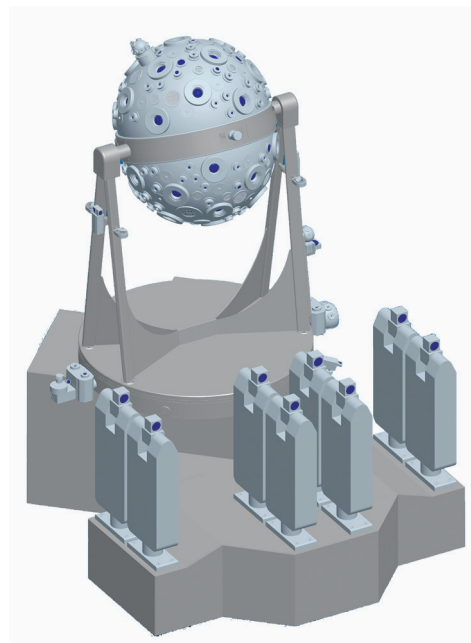
Первым революционным действием стало изменение форм-фактора компоновки прибора. Более 60 лет просуществовала «звездная гантель» – классическая компоновка аппарата «планетарий», где звездное небо демонстрировалось северным и южным шарами, а движения Солнца, Луны и планет связывались единой механической передачей, которая обеспечивала точность и правильность движения этих светил на куполе-экране. Такой удивительный редуктор, созданный выдающимся инженером Вальтером Бауэрсфельдом,

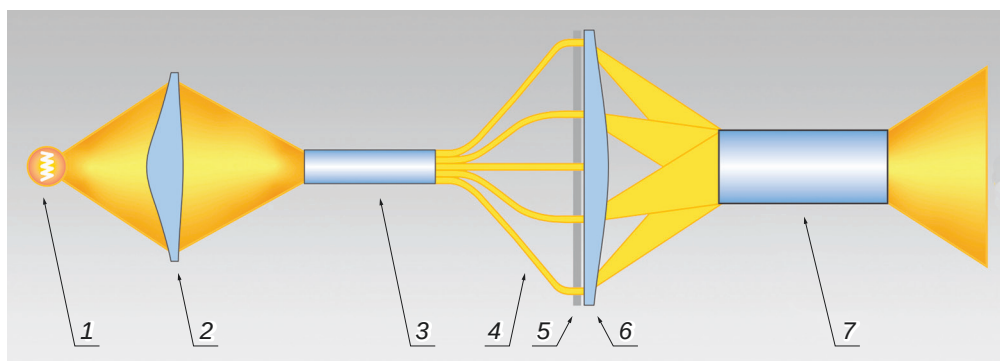
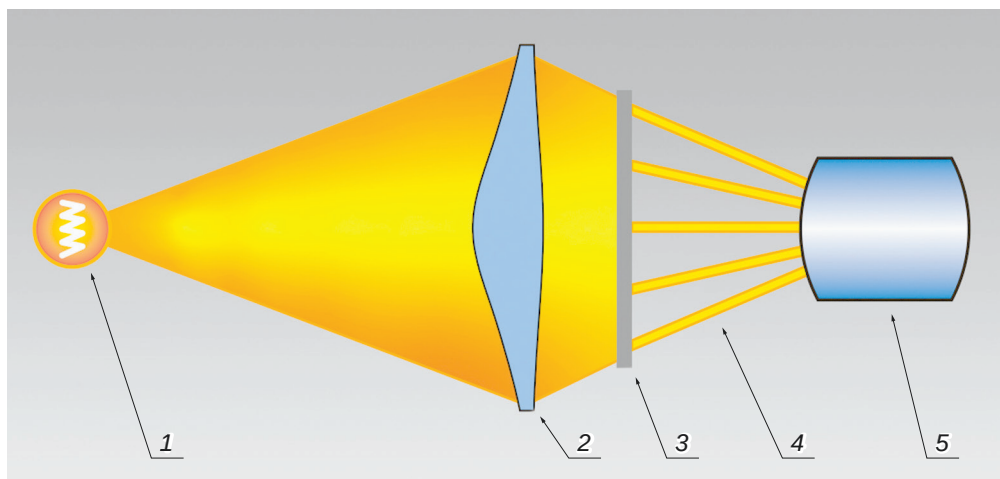
обладал только одним существенным ограничением: было затруднительно перемещаться на большие интервалы времени. Например, если установки аппарата «планетарий» настроены на дату 5 ноября 1999 г. в 21:00 по московскому времени, на куполе мы увидим, как располагались в этот день и час Солнце, Луна и пять видимых невооруженным глазом планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Мы начинаем сеанс и показываем зрителям эти явления. Но если бы мы, например, захотели переместиться на 20 лет вперед и показать подобную конфигурацию светил на другую дату (скажем, 5 ноября 2019 г.), понадобилось бы включить мотор годового движения и переместиться во времени, для чего проектору Солнца необходимо отработать 20 полных оборотов. Достаточно продолжительный процесс вряд ли понравился бы посетителям. Скажем, о перемещении в античную эпоху или времена Древнего Египта вообще не приходилось и мечтать. Таким образом, механическая передача, лежавшая в основе оптико-механического аппарата «планетарий», существенно ограничивала его возможности. Для решения этой проблемы стало необходимым изменить философию прибора. Требовалось избавиться от единого привода, связывающего проекторы, сделать каждый проектор самостоятельным. Но как тогда обеспечить точность положения и правильные движения небесных светил на куполе? И управлять процессом, конечно, теперь должен был компьютер, способный за доли секунды выдавать необходимые команды всем проекционным модулям аппарата «планетарий».

В конце XX в. такие компьютеры появились, вместе с ними возникла возможность создать новый форм-фактор аппарата «планетарий». В нем проекторы Солнца, Луны и планет получи-

ли свои механические приводы, дающие проектору две степени свободы. Каждый проектор мог мгновенно наводиться в любую заданную точку на куполе и двигаться по своей независимой траектории. Компьютер управления за доли секунды выдавал команды на разворот проекторов, чтобы обеспечить правильное положение светил на небесной сфере с периодом 10 000 лет до – 10 000 лет от Рождества Христова. С таким подходом аппараты «планетарий» стали настоящими машинами пространства и времени. Поскольку необходимость в «звездной гантели» отпала, представилась возможность объединить северное и южное звездные полушария в единую конструкцию. Так появился компактный «Звездный шар» (Starball) в Йене (Германия).

Новый форм-фактор аппарата «планетарий». Проекция всего звездного неба объединена единой конструкцией (Starball). Проекторы Солнца, Луны и планет имеют независимые приводы. Показано на примере модели «Карл Цейсс» Universarium MIX

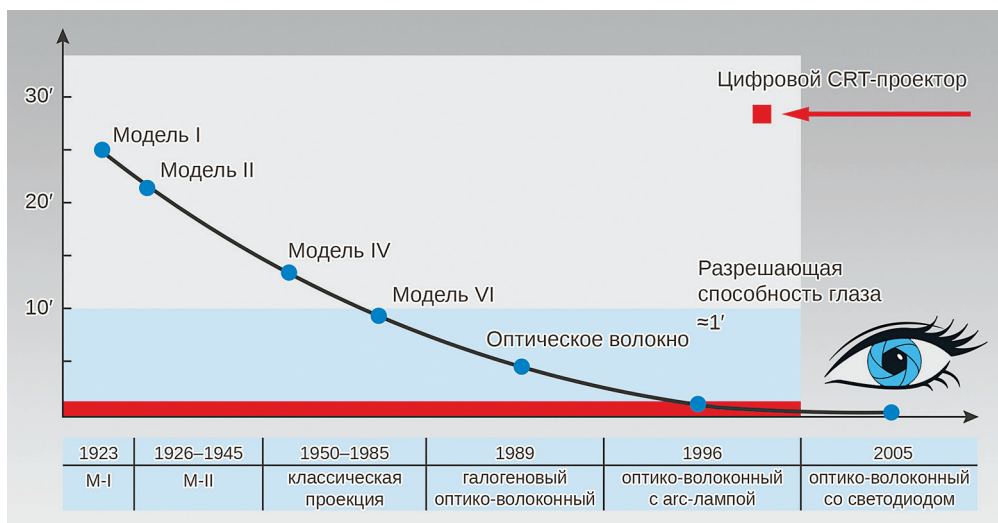




Схемы проекции – классической (вверху): 1 – источник света, лампа накаливания, 2 – конденсорная линза, 3 – звездная маска с отверстиями, 4 – пучки света из отверстий, 5 – проекционный объектив; волоконно-оптической (внизу): 1 – источник света, лампа накаливания, 2 – конденсорная линза, 3 – опто-волоконный делитель, 4 – оптические волокна (световоды), 5 – звездная маска с отверстиями, 6 – поле-линза, 7 – проекционный объектив

Вторым революционным изменением в конструкции аппаратов «планетарий» стало принципиальное изменение подхода к проекции звезд. Начиная с аппарата Model I, звезды проецировались на купол следующим образом. Свет от мощной лампы, расположенной внутри звездного шара, преломлялся на линзах-конденсорах, проходил через звездную маску, представлявшую собой металлическую пластину с пробитыми отверстиями разного диаметра. Далее пучки света проходили через проекционный объектив и попадали на

купол-экран. Каждое звездное полушарие делилось на 16 участков, поэтому полная звездная сфера строилась при помощи 32 проекционных объективов. В каждый из объективов вставлялась звездная маска с полным соответствием пробитых отверстий реальному положению звезд на небе в этом секторе. Чем ярче звезда на небе, тем большего диаметра требовалось проделать отверстие в звездной маске. Это было просто, как все гениальное! Однако в этом техническом решении присутствовал существенный «минус». На купол



Угловой диаметр проецируемых звезд оптико-механическими проекторами планетария. Показан предел разрешения человеческого глаза

в итоге попадала всего лишь одна соты́сячная (!) часть светового потока от лампы. Остальной световой поток переотражался и превращался в тепло внутри звездного шара. Именно поэтому для достижения приемлемой яркости требовались лампы очень большой мощности. И этим обстоятельством серьезно ограничивалось увеличение яркости проекции.

Изменить принцип проекции удалось с помощью оптического волокна. В новой конструкции световой поток от лампы направляется в пучок световодов, затем каждое оптическое волокно припаивается к звездной маске, т.е. каждая звезда проецируется на купол отдельным оптическим волокном. Сколько звезд мы хотим показать на искусственном небе, столько же оптических волокон нужно задействовать в аппарате «планетарий». Подобный подход увеличивает эффективность оптической схемы в сто раз! Это позволяет в десятки раз снизить мощность источника света и при этом в разы поднять яркость проецируемых звезд на куполе-

экране. Помимо яркости проекции и снижения мощности источника света удалось повысить качество отображения звезд на куполе. Как известно, на настоящем небе мы видим звезды в виде светящихся точек, вне зависимости от их яркости. Яркие звезды – это яркие точки, слабые звезды – слабые точки. Так обстоит дело на реальном небе, а что получается на куполе планетария? Здесь звезды отображаются не точками. Изображение звезды имеет ненулевой угловой размер. Чем ярче звезда, тем больше угловой размер звезды на куполе, вместо точек на куполе появлялись светящиеся кружки разных размеров. Человеческий глаз это замечал, что мешало поверить в реальность искусственного неба. С применением волоконной оптики небо на куполе стало выглядеть почти как настоящее. Угловой размер звезд стал сравнимым с предельным разрешением человеческого глаза. Применение в качестве источников света мощных светодиодов обеспечило изображениям звезд правильную цветовую температуру.

На упомянутых революционных принципах компания «Карл Цейсс» выстроила новую линейку аппаратов «планетарий». Первым стал проектор Universarium, предназначенный для больших куполов. Новый аппарат начал выпускаться с 1996 г., его конструкция несколько раз обновлялась. В основном изменения затрагивали источники света. Сначала применялись галогенные лампы, затем дуговые (разрядные), в конечном итоге стала использоваться система мощных светодиодов. Совершенства достиг аппарат «планетарий» Universarium Model IX, выпускаемый с 2000 г. Именно эта модель установлена в самом большом в мире планетарии с купол-экраном диаметром 35 м в японском городе Нагоя. Подобный аппарат стоит с 2012 г. и в обновленном Московском планетарии⁴.

Сегмент средних планетариев сейчас представлен немецкими проекторами StarMaster ZMP и StarMaster ZMP SB.

⁴ Рублёва Ф.Б. Московский планетарий вчера и сегодня // Земля и Вселенная. 2012. № 1.



Аппарат планетарий Universarium MIX. Выпускается с 2000 г.

Модификация SB способна демонстрировать только звездное небо, а также показывать Солнце и Луну. Зато яркость проекционных модулей в этой модели такова, что он способен работать под куполом диаметром до двадцати трех метров. Получается, что новые технологии ломают четкую границу между понятиями большой и средний планетарий.

Все остальные проекции при подобном подходе предполагается показывать при помощи цифровой многопроекторной видеосистемы. Так в XXI в. в профессиональном языке сотрудников планетариев появилось новое понятие – гибридная система.

Последней на сегодня инновационной разработкой стал аппарат «планетарий» для малых куполов. Модель SkyMaster ZKP-4 создали в 2008 г., почти на 10 лет позднее своих старших собратьев. Это легко объяснить. Конструкторам и инженерам необходимо было заключить все современные разработки в небольшой объем – и это им удалось блестяще реализовать. Они сохранили даже



Аппарат «планетарий» SkyMaster ZKP-4. Выпускается с 2008 г. На врезке показаны независимые проекторы Солнца, Луны и планет

классических форм-фактор «звездной гантели», только уже оснащенной независимыми проекторами для Солнца, Луны и планет. Яркость проекции неба с применением светодиодных источников привела к размытию четких границ у моделей малого и среднего размера. Аппарат ZRP-4 может работать с куполами диаметром до 15 м.

Итак, в начале XXI в. оптико-механические планетарии компании «Карл Цейсс» достигли совершенства. Стало трудно представить, что еще можно улучшить в проекционной части созданных аппаратов, как сделать вид звездного неба на куполе-экране еще более естественным. И самое главное, а нужно ли это делать? Ведь главная цель достигнута: потрясающий вид звездного неба, демонстрируемый оптоволоконным планетарием, не оставляет равнодушным никого. Даже если зритель не интересуется астрономией, он получит эстетическое впечатление и сохранит его на всю жизнь.

А что же в других странах? В XX в. помимо Германии планетарии производили в СССР, США, Японии, Франции, Италии и Китае. Возможно где-то еще тоже экспериментировали с проекторами, которые не получили широкой огласки. Сегодняшние глобальные экономические процессы сильно оптимизировали наш маленький сегмент рынка. В результате половина из упомянутых стран перестала производить планетарии, предпочитая покупать у лидеров отрасли. На сегодняшний день оптико-механические проекторы производятся всего в трех странах мира: Германии, Японии и Китае. При этом в Японии производством планетариев занимаются сразу три компании. Для остальных стран планетарии стали достоянием истории.

Здесь хочется упомянуть о французских планетариях. Нашему профессиональному сообществу знакома компания «RSA Cosmos» (Франция) – ведущий лидер по производству комплексных решений для планетария. Всем

интересующимся астрономией хорошо знаком, возможно, лучший в мире астрономический тренажер SkyExplorer, созданный этой компанией. Мало кому известно, что в конце XX в. компания «RSA Cosmos» стала выпускать аппараты «планетарий», причем весьма оригинальной конструкции.

Так что же дальше? Есть мнение, что оптико-механические планетарии вскоре станут ненужным атрибутом, необычными экспонатами для музеев, что цифровые технологии заменят в планетарии все и вся. Автору представляется, что это неверное предположение. Аппарат «планетарий» заслуженно приобрел классический, а значит, вечный статус. Он навсегда останется в истории человечества и будет иметь право на существование, как, например, классический орган или инструменты симфонического оркестра.

Процесс познания невозможно остановить. И прямо сейчас в нашем сообществе есть люди, которые придают новый смысл существованию оптических технологий в планетарии. В Японии появилась новая технология изготовления «звездных масок» для оптико-механических проекторов. Специально разработанный прецизионный процесс позволяет с высокой точностью изготавливать отверстия диаметром до 180 нм. Это позволяет демонстрировать на куполе сотни миллионов звезд. Подобный поход разрушает привычный стереотип, дает возможность зрителю видеть на куполе звезды, недоступные простому глазу. Теперь в зал планетария можно приходиться с биноклем или даже телескопом, разглядывать Млечный Путь, искать туманности и галактики. Что это – смелый эксперимент или новое направление развития оптических планетариев? Время покажет. Автор уверен, что впереди нас ждут еще новые открытия и великолепные достижения человеческого разума. Главное, чтобы зрители приходили под купол планетария и не переставали удивляться.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НЕДЕЛЯ ПЛАНЕТАРИЕВ В ЯРОСЛАВЛЕ К 60-летию полета первой женщины-космонавта В.В. Терешковой*

ТРОФИЛЕВА Ирина Николаевна

ТИХОМИРОВА Екатерина Николаевна

ГАУК ЯО «Центр имени В.В.Терешковой»

DOI: 10.7868/50044394823050092

VI Международная неделя планетариев состоялась в Культурно-просветительском центре имени В.В. Терешковой (г. Ярославль) с 14 по 17 июня 2023 г. и была приурочена к празднованию 60-й годовщины полета первой женщины-космонавта Валентины Владимировны Терешковой. Организаторами форума стали Благотворительный фонд В.В. Терешковой, Департамент культуры Ярославской области, Государственное автономное учреждение культуры Ярославской области «Культурно-просветительский центр имени В.В. Терешковой» и Ассоциация планетариев и лиц, содействующих их развитию. Проведение данного события поддержал Фонд президентских грантов.

Международная неделя планетариев традиционно включала в себя Международный фестиваль научно-популярных полнокупольных программ «Отражение Вселенной» и Международную кон-

ференцию «Планетарий XXI века». Оба мероприятия также проводились в рамках Десятилетия науки и технологий.

Первый в России Международный фестиваль научно-популярных полнокупольных программ «Отражение Вселенной», состоявшийся в Культурно-просветительском центре в 2013 году, выявил высокую заинтересованность российских участников к созданию полнокупольных программ для планетариев и доказал актуальность проведения фестиваля. Организаторами было принято решение о проведении фестиваля один раз в два года. Так, в 2023 году Культурно-просветительский центр уже в шестой раз стал международной площадкой, наглядно демонстрируя потенциал планетария, оснащенного современным проекционным оборудованием, в сфере культуры, образования и просвещения.

В программе Фестиваля приняли участие 26 полнокупольных работ

* Фотографии предоставил А.А. Попов.

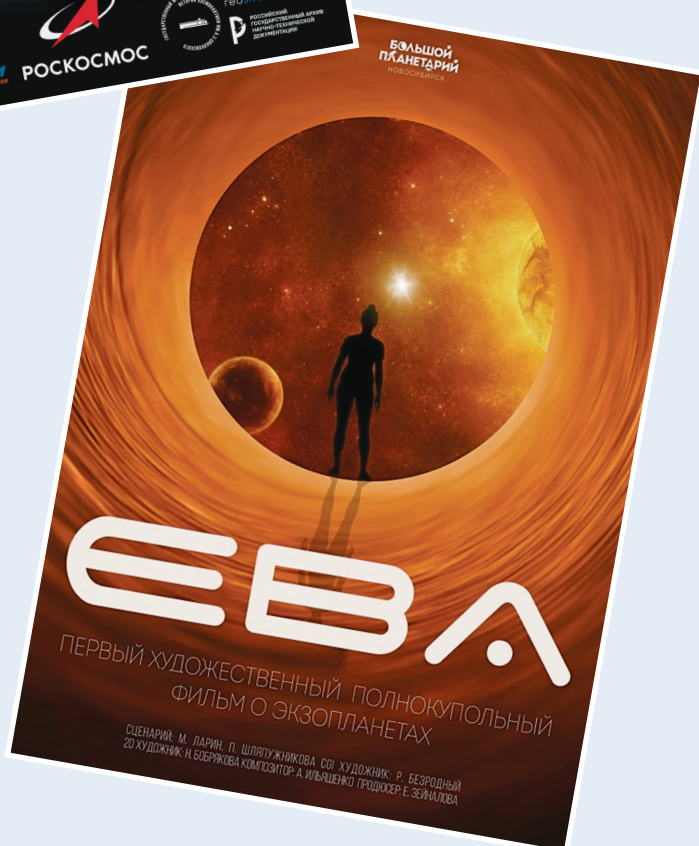


из разных городов России, Греции, Франции, Арабской Республики Египет и Республики Колумбия. Участниками стали более 100 человек: руководители и специалисты российских планетариев, представители планетариев ближнего и дальнего зарубежья, представители научной общественности и деловых кругов, индивидуальные творческие работники, производители полнокупольного контента для планетариев.

Конкурсные материалы фестиваля были представлены в пяти категориях: полнокупольный научно-популярный фильм; научно-популярный клип для планетариев; популярная лекция в планетарии (с полнокупольной визуализацией), творческое короткометражное и полнометражное произведение для планетария. Для оценки полнокупольных работ было сформировано авторитетное жюри, председателем стал Сергей Арктурович Язев, доктор физико-математических наук, профессор, директор астрономической observa-

тории ИГУ, старший научный сотрудник Института солнечно-земной физики СО РАН (г. Иркутск, Россия). Члены жюри фестиваля: д-р Омар Фикри (руководитель планетария Александрийской библиотеки, член правления Арабской ассоциации планетариев, г. Александрия, Египет), Михаил Геннадьевич Гаврилов (кандидат физико-математических наук, ученый секретарь Научного совета по астрономии РАН, г. Москва), Андрей Васильевич Фесенко (кандидат педагогических наук, научный руководитель планетария им. Б.А. Максимачёва, г. Москва), Дмитрий Федорович Белоножко, доктор физико-математических наук, профессор Физического факультета ЯрГУ им. П.Г. Демидова, ведущий методист ГАУК ЯО «Центр имени В.В. Терешковой» (г. Ярославль).

Наиболее широко была представлена фестивальная номинация полнокупольных научно-популярных фильмов. Ассоциация планетариев России представила две работы. Фильм «Космиче-



ская история России» был разработан при поддержке Фонда культурных инициатив, а основным партнером стал Культурно-просветительский центр имени В.В. Терешковой. Особое внимание в фильме уделяется приоритетным отечественным достижениям в теории и практике космического полета. Для оказания значительной поддержки педагогам и сотрудникам планетариев в ходе организации учебного процесса в дополнение к программе «Космическая история России» было выпущено учебно-методическое пособие. Программа «Галактика и ее население» Ассоциации планетариев создавалась с учетом результатов передовых научных исследований, полученных в последнее время. В программе рассматриваются не только физические характеристики Галактики, но и компоненты, входящие в ее состав, – звезды, газ, пыль, темная материя. Особое внимание уделено положению Солнца в Галактике и влиянию галактических процессов на земную жизнь. Данная программа может быть рекомендована в качестве учебной как старшеклассникам, изучающим астрономию, так и любителям астрономии всех возрастов.

Фильм «Черные дыры: неизвестные горизонты» (совместное производство Мадридского планетария и студии “Double Dome Films”) вызвал особый интерес у участников фестиваля. Каждый смог отправиться в удивительное путешествие через пространство, вре-



мя и гравитацию до самых дальних границ познания.

Некоторые фестивальные работы наглядно демонстрировали основные вехи в истории нашей страны, ярко иллюстрировали знаковые события. Так, в полнометражном фильме «Земля глазами Юрия Гагарина» компании «СофтЛаб-НСК» в сотрудничестве с Новосибирским планетарием и при поддержке Президентского фонда культурных инициатив воссоздан в формате 3D полет первого космонавта на космическом корабле «Восток-1». В фильме использованы космические снимки Земли, аудиоматериалы переговоров с Юрием Гагариным в полете,



техническая и документальная литература.

Полнокупольная программа «Бесмертный подвиг Сталинграда», приуроченная к 80-й годовщине разгрома советскими войсками немецко-фашистских войск в Сталинградской битве, была создана Волгоградским планетарием. Фильм отражает основные этапы Сталинградской битвы, содержит большое количество фотографий, фрагментов кинохроники, инфографик, а также анимированных карт ключевых боевых операций Сталинградской битвы.

Полнокупольный фильм «Звездный путь человечества» (Планетарий имени Б.А. Максимачёва) рассказывает о долгом пути, пройденном человечеством: от древних мифов, начала воздухоплавания до полетов в космос. В роли рассказчика выступил летчик-космонавт, Герой России А.И. Лазуткин.

Темы прекрасного звездного неба и планетария были ярко отражены в конкурсных фильмах. Полнокупольный фильм «Путеводные звезды» производства студии Московского планетария – первый в России в разрешении 8K. Он способен стать вашей «путеводной звездой» в мир астронавигации,

с его помощью легко получить практические навыки поиска важных навигационных звезд и созвездий, воспользоваться возможностью поразмышлять о месте человека во Вселенной. Фильм «Волшебник-планетарий» производства ГМИК имени К.Э. Циолковского (г. Калуга) продемонстрировал настоящие чудеса звездного неба, что особенно актуально в юбилейный год 100-летия аппарата «планетарий». Интересен пример полнокупольного просветительского медиаконтента «Звездное небо», созданного при поддержке ПФКИ группой учащихся 10-го класса ГБОУ «Лицей № 14» города Ижевска.

Традиционно полнокупольные фильмы для детей представляют собой особую категорию. Фильм «Миссия» (Научный центр «Планетарий», Библиотека Александрии) посвящен спору среди астрономов о том, классифицировать Плутон как планету или нет. Он создан специально для детей, чтобы обозначить проблему и представить взгляды разных ученых на ее решение. Еще одна работа из Египта – «Просветленный разум»: она проливает свет на известного арабского ученого аль-Хасан ибн аль-Хайтама и его зна-



чительный вклад в развитие оптики, который впоследствии привел к созданию телескопов. Французский полнокупольный фильм «Белочки в поисках совершенной планеты» (С. Бертран, Д. Можен) рассказывает о двух юных белочках, мечтающих попасть на планету, где растут большие-пребольшие

орехи. Они пытаются покорить небо, а умная сова Лион помогает понять, где же ее искать – идеальную планету с лучшими орехами в космосе.

Два фильма: «Постигая невидимую Вселенную» и «SERVARE INTAMINATUM: К 180-летию Афинской обсерватории», представил Теофанис Матсопулос





(Маруси, Греция). В фильме «Постигая невидимую Вселенную» представлены изображения космоса, полученные в разных диапазонах электромагнитного излучения в результате различ-

ных экспериментов. Программа об Афинской обсерватории раскрывает все направления деятельности в этом старейшем исследовательском центре Греции.

На фестивале был представлен первый художественный полнометражный фильм об экзопланетах «Ева» (МАУ ДО ДЮЦ «Планетарий», г. Новосибирск).

Номинация полнометражные лекции для планетария проиллюстрировала широкие возможности контакта лекторов с аудиторией: «Школа звездочета: летние созвездия» (О.М. Роменская, ГАУК ЯО

«Центр имени В.В. Терешковой», г. Ярославль), «Курс на Марс» (С.В. Соловьёв, КОГБУК «Музей К.Э. Циолковского, авиации и космонавтики», г. Киров), «За чилийской короной» (С.А. Язев, Большой





иркутский планетарий), «Астероиды. Космический пантеон славы» (О.Б. Колесникова, ГБУК ВО «Волгоградский планетарий»), «Азбука звездного неба» (Н.А. Данилова, МАУК «Нижегородский планетарий имени Г.М. Гречко»), «Планеты, открытые заново» (Е.Ю. Засыпкина, Нижегородский планетарий имени Г.М. Гречко), «Арабское звездное небо. Живое шоу для планетариев от Омара Фикри» (д-р Омар Фикри, планетарий новой Александрийской библиотеки, г. Александрия, Египет).

В номинации полнокупольных клипов были представлены: анимационный мультфильм «Луна» по мотивам сказки братьев Гримм (МАУК «Нижегородский планетарий имени Г.М. Гречко»), «Откуда жизнь пошла» (мультипликационная студия «Мультиплан» под руководством Е.Р. Тихоновой, МАУ ДО ДЮЦ «Планетарий», г. Новосибирск), «Сны о космосе». Нейросетевая фантазия» (А.В. Шустров, Alrado Studio С. Козинцев, Snark Studio), «Лавка миров. Стран-

ник» (Н.Ю. Фальковская, музыкальный проект «Петля Времени»).

Творческие полнокупольные работы позволили участникам окунуться в безграничный мир музыки и космоса: «Вселенная клавиш» («Фортео») и «Лунная соната» (МАУК «Нижегородский планетарий имени Г.М. Гречко»). Театрализованное представление «Большой галактический бал» (МАУ ДО ДЮЦ «Планетарий», г. Новосибирск) перенесло участников в волшебный лес, где сказочные герои побеждают зло и возвращают утраченную гармонию.

В рамках Международной недели планетариев также состоялась VI Международная конференция «Планетарий XXI века». Участниками конференции стали ведущие специалисты планетариев и организаций космической направленности из Ярославля, Москвы, Нижнего Новгорода, Санкт-Петербурга, Волгограда, Владимира, Пскова, Калуги, Пензы, Казани, Томска, Иркутска, Калининграда, Самары, Воронежа, Ижевска, Новороссийска, Новосибир-



ска, а также представители из Республики Беларусь, Арабской Республики Египет. Такой уровень ощутимо способствует росту профессионального авторитета и Центра имени В.В. Терешковой, и планетариев других городов и стран.

Конференция затронула обширную группу вопросов, представляющих планетарий как мощный, современный информационно-познавательный мультимедийный комплекс для популяризации естественнонаучных знаний. Участникам были продемонстрированы уникальные особенности архитектуры и технического оснащения подобных объектов, а также форм просветительской работы в нынешних условиях.

16 июня 2023 года в Культурно-просветительском центре имени В.В. Терешковой состоялось торжественное открытие выставки «Первая в космосе. История космического полета Валентины Терешковой. 16–19 июня 1963». Данная выставка посвящена 60-летию полета в космос первой женщины-космонавта, Героя Советского Союза Валентины Владимировны Терешковой.

Организаторами выставки являются Российский государственный архив научно-технической документации, Ассоциация планетариев России и Центр имени В.В. Терешковой при поддержке Фонда президентских грантов. Особенностью выставки стала уникальная акция, объединяющая города и страны. Ко дню юбилея космического полета В.В. Терешковой в музеи космонавтики и планетарии России и Белоруссии выставка была разослана и торжественно открыта 16 июня 2023 года.

За 10 лет фестиваль продемонстрировал значительный рост количества конкурсных полнометражных программ российского производства и качества видеоряда фильмов. Фестиваль и конференция, несомненно, расширяют сферу деятельности планетариев, открывают новые возможности популяризации науки среди молодежи и самых широких слоев населения, привлекают внимание к инновационной деятельности в космических и астрономических сферах научно-практической деятельности.

EARTH & UNIVERSE

5 (353), 2023

September–October

TABLE OF CONTENT:

Olga N. SOLOMINA Editorial	3
Mariya E. FLEIS, Maxim V. NYRTSOV, Nikolay N. KAZANTSEV Named Map Projections	5
Ekaterina V. LEBEDEVA, Anna V. ZAVADSKAYA Valley of Geysers at Kamchatka: Landscape Formation Under Hydrothermal Influence	18
Alexander N. MAKKAVEEV, Artem L. GURINOV, Alexander L. ALEXANDROVSKYI, Sergey V. SHVAREV, Nikolay N. LUGOVOY, Vadim A. KARAVAEV Astroblemes In the Eastern Moscow Region	31
Sergey A. BARTALEV, Natalya V. LUKINA New Methodology For Studying Carbon In the Forests of Russia From Space	44
XXI Century Cosmonautics	
Pavel S. SHUBIN Third Lunar Spaceship Of India Has Reached Its Destination	59
Planetaria	
Andrey V. LOBANOV Opto-Mechanical Projector's Evolution Through the Century	64
Andrey V. FESENKO "Here the feeble hand of man has proved Nature's rival". A Brief History of Planetaria	74
Andrey V. LOBANOV, Sergey A. YAZEV To the 100th Anniversary of Planetaria: Missions And Problems	82
Symposia, Conferences, Congresses	
Irina N. TROFILEVA, Ekaterina N. TIKHOMIROVA International Week of Planetaria in Yaroslavl. To the 60th Anniversary of Valentina Tereshkova, the First Woman In Space, Flight	96

Cover image: The Geyzernaya river valley in Kamchatka Peninsula. Photo courtesy:
Anna V. Zavadskaya (see p. 21)

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 5/2023

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

+7(495) 276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukapublishers.ru

по вопросам сотрудничества:

+7(495) 276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukapublishers.ru

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 01.09.2023 Подписано к печати 11.10.2023

Дата выхода в свет 25.10.2023 Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 8,8 Уч.-изд.л. 8,8 Бум.л. 3.375

Тираж 1000 экз. Заказ № 36 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГБУ «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

издательство
НАУКА
— 1727 —

Издательство «Наука» оказывает услуги:

- **СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА**
редактирование
вёрстка
изготовление рисунков
- **ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ**
- **ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ**
- **РАСПРОСТРАНЕНИЕ В МАГАЗИНАХ
«АКАДЕМКНИГА»**

Высокопрофессиональные специалисты «Науки»
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru

Тел.: +7 (495) 276-7735

Реклама

издательство
НАУКА
— 1727 —

Типография ФГБУ «Издательство «Наука»
www.tnauka.ru

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР



Удобное месторасположение
Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург

издательство
НАУКА
— 1727 —



**НОВИНКИ И АКЦИИ
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**



vk.com/naukapublishers



t.me/naukapublishersru



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1
тел.: +7 (495) 276-77-35
info@naukapublishers.ru
naukapublishers.ru

ISSN 0044-3948



9 770044 394007